

RAPPORT LNR 4329-2001

# Overvåking i 2000 av vannkvaliteten i Puttjernene, Puttjernsbekken og Lutvannsbekken i Østmarka

Sammenligning med resultatene  
fra undersøkelsene i 1998 og 1999



## Hovedkontor

Postboks 173, Kjelsås  
0411 Oslo  
Telefon (47) 22 18 51 00  
Telefax (47) 22 18 52 00  
Internet: www.niva.no

## Sørlandsavdelingen

Televeien 3  
4879 Grimsd  
Telefon (47) 37 29 50 55  
Telefax (47) 37 04 45 13

## Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41  
2312 Ottestad  
Telefon (47) 62 57 64 00  
Telefax (47) 62 57 66 53

## Vestlandsavdelingen

Nordnesboder 5  
5008 Bergen  
Telefon (47) 55 30 22 50  
Telefax (47) 55 30 22 51

## Akvaplan-niva

9296 Tromsø  
Telefon (47) 77 75 03 00  
Telefax (47) 77 75 03 01

<b>Tittel</b> Overvåking i 2000 av vannkvaliteten i Puttjernene, Puttjernsbekken og Lutvannsbekken i Østmarka. Sammenligning med resultatene fra undersøkelsene i 1998 og 1999.	<b>Løpnr. (for bestilling)</b> 4329-2001	<b>Dato</b> 3.januar 2001
	<b>Prosjektnr. Undernr.</b> O-97234	<b>Sider Pris</b> 77
<b>Forfatter(e)</b> Pål Brettum Jan Eivind Løvik	<b>Fagområde</b> Vassdrag	<b>Distribusjon</b>
	<b>Geografisk område</b> Oslo	<b>Trykket</b> NIVA

<b>Oppdragsgiver(e)</b> NSB Gardermobanen A/S	<b>Oppdragsreferanse</b>
--	--------------------------

## Sammenheng

NIVA har i 2000 som i 1999 overvåket noen av lokalitetene i Østmarka som direkte eller indirekte var berørt av lekkasjene til Romeriksporten i 1997-98. Det har vært Søndre og Nordre Puttjern, Puttjernsbekken og Lutvannsbekken/Krokstjernsbekken. Etter at en kom igang med å pumpe lekkasjevannet til tunnelen tilbake til fjellet via et infiltreringsanlegg, har en klart å holde vannstanden i Nordre Puttjern så høy at vann rant ut av tjernet til Puttjernsbekken det meste av sesongen 1999 og i perioder også i 2000. Overvåkingen i 2000 viser at forholdene i Søndre Puttjern, med hensyn til de fysiske-kjemiske parametre og planteplankton og dyreplankton er relativt like forholdene i 1999. Tjernene ble ikke kalket i 1999, men i august 2000. En tendens til synkende pH og konduktivitet ble registrert i Søndre Puttjern, men etter kalkingen i august steg verdiene for disse parametrene i august og september. Det ble også registrert en noe mindre planteplanktonbiomasse og noe mindre klorofyllverdier i 2000 i Søndre Puttjern. Verdiene for parametrene i Nordre Puttjern viste også stor grad av likhet mellom 1999 og 2000, selv om det også her ble registrert en ytterligere økning av pH og konduktivitet etter kalkingen i 2000. Med unntak for oktober ble en svak nedgang i fargetall og TOC registrert. Sammenligning av dypvannsprøvene mellom de to tjernene viste at det ennå er stor forskjell i konduktivitet, jern og sulfatinnhold. Kalkingen på høsten ga økning i pH, ellers var forholdene i dypvannet relativt like i 1999 og 2000. Planteplanktonbiomassen i Nordre Puttjern var tredoblet sammenlignet med tidligere år. Årsaken er sannsynligvis at vannmassene er blitt mindre sure, pH har steget. Dette gjør at blant annet mer forsuringssømlig planteplanktonarter dukker opp i planktonsamfunnet igjen. Denne prosessen tar litt tid, noe som kan være årsaken til at en ikke registrerte økningen i 1999, da pH hadde økt og fosforinnholdet var høyt. Mens dyreplanktonet i Søndre Puttjern hadde en tilnærmet normal sammensetning, viste dyreplanktonet i Nordre Puttjern en mer unormal sammensetning med dominans av hjuldyr, mens svært lite krepsdyrplankton ble registrert. Sannsynligvis tar det noe tid for en del krepsdyrarter å etablere seg på ny. De undersøkte bekkestasjonene viste at forholdene på alle stasjonene i 2000 i store trekk var som i 1999.

<b>Fire norske emneord</b> 1. Limnologiske undersøkelser 2. Vannkvalitet 3. Overvåking 4. Østmarka, Oslo	<b>Fire engelske emneord</b> 1. Limnological investigations 2. Water quality 3. Monitoring 4. Østmarka area, Oslo
--	---

  
 Pål Brettum  
 Prosjektleder

  
 Anne Lyche Solheim  
 Forskningsleder  
 ISBN 82-577-3963-4

  
 Nils Roar Sælthun  
 Forskningsjef

O-97234

**Overvåking i 2000 av vannkvaliteten i Puttjernene,  
Puttjernsbekken og Lutvannsbekken i Østmarka**

Sammenligning med resultatene fra undersøkelsene i  
1998 og 1999

## Forord

I 1998 ble flere innsjøer og bekker, som en antok kunne være berørt av lekkasjene til Romeriksporten, undersøkt. Etter at disse undersøkelsene var rapportert ba NSB Gardermobanen A/S, Norsk institutt for vannforskning (NIVA) om å utforme og gjennomføre et overvåkingsprogram for de lokaliteter som direkte eller indirekte viste seg å være berørt av lekkasjene.

I 1999 omfattet overvåkingen Søndre og Nordre Puttjern, samt Puttjernsbekken og Munkebekken. I tillegg ble det foretatt analyser av kjemiske prøver fra Lutvannsbekken og Kroktjernsbekken.

Analysene av prøver fra Lutvannsbekken og Kroktjernsbekken var en støtte til de undersøkelsene som LFI (Laboratorium for ferskvannsekologi og innlandsfiske) gjennomfører av fisk og bunnfauna i dette bekkesystemet.

I 2000 har en i store trekk fulgt overvåkingsprogrammet fra 1999 med unntak av stasjonen i Munkebekken, som en fant ikke lenger var egnet som overvåkingsstasjon på grunn av lokale tilførsler.

Alle kjemiske analyser av innsamlete vannprøver er utført ved Kjemisk laboratorium på NIVA.

Alt feltarbeid er utført med god assistanse av forskn.ass. Sigbjørn Andersen og fagass. Jan Rokne.

Analyse og sammenstilling av dyreplanktonmaterialet er, som tidligere år, utført av forskn.ass. Jarl Eivind Løvik.

Planteplanktonanalysene er utført av forsker Pål Brettum, som også har sammenstilt de fysisk-kjemiske analyseresultatene og er ansvarlig for utformingen av denne rapporten.

Oslo, 3.januar 2001

*Pål Brettum*

---

# **Innhold**

<b>Sammendrag og konklusjoner</b>	<b>5</b>
<b>Summary</b>	<b>10</b>
<b>1. Innledning</b>	<b>11</b>
<b>2. Prøvetakingsstasjoner, -program og frekvens</b>	<b>11</b>
2.1 Innsjølokalitetene	11
2.2 Bekkelokalitetene	12
<b>3. Nedbør- og lufttemperatur</b>	<b>14</b>
<b>4. Vannstands- og vannføringsvariasjoner</b>	<b>14</b>
4.1 Vannstandsvariasjoner	14
4.2 Vannføringsmålinger	17
<b>5. Fysisk-kjemiske forhold og plankton</b>	<b>18</b>
5.1 Innsjøer	18
5.1.1 Fysisk-kjemiske forhold	18
5.1.2 Planteplankton og klorofyll	36
5.1.3 Dyreplankton	43
5.2 Bekkelokaliteter	49
5.2.1 Fysisk-kjemiske forhold	49
<b>6. Referanser</b>	<b>62</b>
<b>7. Vedlegg</b>	<b>64</b>

---

## Sammendrag og konklusjoner

Lekkasjer til Romeriksporten berørte en del vann og vassdrag i Østmarka. I den forbindelse ble det gjennomført en omfattende undersøkelse i 1998 av en rekke vannforekomster som en antok kunne være berørt av lekkasjene. Undersøkelsene ble gjennomført av NIVA (Norsk institutt for vannforskning) og LFI (Laboratorium for fersvannsøkologi og innlandfiske), med NSB Gardermobanen A/S som oppdragsgiver.

Etter at undersøkelsene var gjennomført og resultatene rapportert, ble NIVA bedt om å gjennomføre en overvåking av deler av området. Overvåkingsundersøkelsene har i 2000 omfattet Puttjernene og Puttjernsbekken. I tjernene ble det gjennomført undersøkelser av fysisk-kjemiske parametre, planteplankton og dyreplankton, i bekken fysisk-kjemiske undersøkelser.

Fordi LFI skulle gjennomføre en treårsundersøkelse av fisk- og bunndyrforholdene, i første rekke i Lutvannsbekken, var det ønskelig med en undersøkelse av de fysisk-kjemiske forholdene også i dette bekkesystemet. Prøver for slike analyser ble derfor i tillegg samlet inn fra tre stasjoner der, to i selve Lutvannsbekken og en i Krokstjernsbekken som renner inn i Lutvannsbekken. Slike prøver er samlet inn og analysert gjennom sesongene både i 1999 og 2000.

For å bedre forholdene rundt Puttjernsområdet og Puttjernene, og særlig Nordre Puttjern, ble det i 1999 satt igang et arbeide der en pumpet vannet, som kom til tunnelen som lekkasjer, tilbake til fjellet ved et infiltrasjonsanlegg. Dette skulle skape et mottrykk mot det inntrengende vannet. Dermed ville en dempe lekkasjene og få grunnvannsnivået og vannstanden i tjernet tilbake til tilstanden slik den var før arbeidene med Romeriksporten startet.

Gjennom 1999 var vannstanden i både **Søndre** og **Nordre Puttjern** høy, og det rant vann ut av utløpene i begge tjernene store deler av sesongen. Bare i den tørreste perioden i juli-september rant det ikke vann ut til bekken, men vannstanden i begge tjernene, også **Nordre Puttjern**, holdt seg høy. Dette var et resultat av tiltakene i Romeriksporten. I 2000 har det bare rent vann ut av utløpene i Søndre og Nordre Puttjern i korte perioder i mai og juni og det meste av oktober. Resten av sesongen har en også hatt tilnærmet normal vannstand i begge tjernene men uten at det har rent vann i utløpene. For Nordre Puttjern vil det si til Puttjernsbekken.

I **Søndre Puttjern** var temperatur- og oksygenforholdene og de vannkjemiske forholdene i 2000 i store trekk som i 1998 og 1999. Det har vært lite oksygen under ca. 5 m dyp. Vannmassene hadde en relativt høy pH, men med verdier lavere enn i 1999, rundt 6.5 frem til august. Den 7. august ble begge tjernene kalket, og verdiene for pH steg til mellom 7 og 7.5 i august og september, men sank noe igjen i oktober med mye nedbør. Dette ga seg også utslag på verdiene for konduktivitet, som viser en tilsvarende økning i august og september. Med unntak av oktober ble det i 2000 registrert noe lavere verdier for fargetall og totalt organisk karbon (TOC) enn i 1999, noe som viser litt mindre påvirkning av humusstoffer.

I **Nordre Puttjern** var også variasjonene i temperatur og oksygen gjennom sesongen 2000 mye lik registreringene i 1998 og 1999. De fysisk-kjemiske analyseresultatene av blandprøvene fra epilimnion viser at vannmassene der var betydelig mindre sure i 1999 sammenlignet med 1998. I 2000 lå pH omtrent som i 1999 frem til august, men steg kraftig i august og september etter kalkingen. I 1999 lå pH mellom 5.56 og 6.49, i 2000 mellom 5.69 og 6.74. Konduktiviteten sank kraftig fra 1998 til 1999, noe som viser at vannmassene i epilimnion i 1999 var mindre ionerike. Gjennom 2000 holdt nivået

seg for konduktivitet omtrent som i 1999, men en liten økning kunne en registrere også for denne parameter i august og september som en følge av kalkingen. Innholdet av partikler var også markert mindre i 1999 sammenlignet med 1998, vist ved kraftig redusert turbiditet. Fargetallet og TOC økte derimot i 1999, særlig utover høsten, og viste mye høyere verdier enn i 1998. Ekstremt lav pH og foto-oksydasjon på grunn av liten vanngjennomstrømming førte til avfarging av humus i 1998. Gjennom sesongen 2000 varierte partikkelinnholdet, målt som turbiditet, innenfor omtrent samme intervall som i 1999. Det samme var tilfelle med fargetallet og TOC, selv om de på samme måte som i Søndre Puttjern var litt lavere. Dette viser litt mindre påvirkning av humusstoffer i 2000. Siktedypet var 0.5-1.0 m mindre i 1999 enn i 1998 med størst forskjell om høsten, på grunn av mer humusrikt vann. Gjennom sesongen 2000 var siktedypet i Nordre Puttjern omtrent som i 1999.

Også analysene av pH, konduktivitet, jern og sulfat i prøvene fra 2, 4 og 7 m dyp i Nordre Puttjern viste klar bedring av vannkvaliteten i alle dyp fra 1998 til 1999, størst endring i 4 m dyp. I 2000 registrerte en en økning i pH i alle dyp etter kalkingen i august, selv om den i de øverste vannlag sank noe etter mye nedbør i oktober. Konduktiviteten og innholdet av sulfat og jern lå i store trekk på samme nivå som i 1999.

En sammenligning er også gjort mellom analyseresultater for dypvannsprøver i Søndre og Nordre Puttjern. En går ut fra at forholdene i de to tjernene var relativt like før byggingen av Romeriksporten tok til, og at resultatene for Søndre Puttjern derfor kan fungere som referanse. Sammenligningen viser at det for de målte parametre; konduktivitet, jern og sulfat, ennå er store forskjeller i verdiene i dypvannet i de to tjernene og at det er svært høye verdier ennå i Nordre Puttjern. For pH så en økning etter august og kalkingen også i dypvannet fordi kalk sank ned i disse vannlag.

Planteplanktonanalysene for **Søndre Puttjern** viste at variasjonene i planteplanktonbiomasse og registrert maksimum lå omtrent på samme nivå i 1998 og 1999. I 2000 var verdiene litt lavere både målt som planteplanktonvolum og klorofyllinnhold. Også sammensetningen av arter var mye den samme i 1998 og 1999. Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) var i sommerperioden den mest dominerende gruppen gjennom alle tre årene. Mens det i 2000 kun sporadisk ble registrert individer innen gruppen Cyanophyceae (cyanobakterier), var denne gruppen mer markert i 1998 og 1999. Flest arter ble i 2000 som i 1998 og 1999 registrert innen gruppen Chrysophyceae (gullalger). Dette er en viktig gruppe i Søndre Puttjern, selv om den er mindre dominerende i dette kalkete tjernet enn den normalt ville vært i mer sure skogstjern. Den prosentvise andelen av gruppen økte imidlertid noe i 2000 sammenlignet med de foregående år. Planteplanktonet viser stort mangfold med et samlet antall taksa i 1998 på 63, i 1999 på 61 og i 2000 på 70.

Dyreplanktonet i **Søndre Puttjern** hadde en normal artssammensetning som tydet på relativt næringsfattige forhold og muligens et betydelig predasjonspress fra planktonspisende fisk. Biomassen av gruppen calanoide hoppekreps var de fleste gangene betydelig større i 1999 enn i 1998 mens den i 2000 var gjennomgående lavere igjen. Biomassen av cyclopoide hoppekreps og vannlopper var mindre i 1999 enn i 1998. I 2000 økte denne gruppen sammenlignet med 1999. Forskjellene lå imidlertid innenfor det en kan regne med som naturlige år til år variasjoner i et skogstjern. Totalbiomassen var middels høy, og det var ingen store endringer i artssammensetning og biomasse i 2000 sammenlignet med foregående år.

Planteplanktonanalysene i **Nordre Puttjern** viser at totalvolumet også i dette tjernet varierte noe, men registrerte maksimum lå omtrent på samme nivå de to årene 1998 og 1999. I 2000 hadde planteplanktonbiomassen økt kraftig med et registrert maksimum og gjennomsnitt tre ganger så høyt som i 1999. En dominans av gruppen Cryptophyceae (svelgflagellater) ble registrert alle årene på ettersommeren og høsten, mens våren og forsommeren var dominert av gruppene Dinophyceae (fureflagellater) og Chrysophyceae (gullalger). Flest arter fant en innen gruppen Chrysophyceae i 1998, men det totale arts-/ taksa-antall var bare 36 det året. Diversiteten økte kraftig i 1999 med 51 registre arter eller taksa. I 2000 var artsantallet omtrent som 1999, med 49 arter. Det økte mangfold

av arter i 1999 og 2000 henger sannsynligvis sammen med den økte pH-verdien som en registrerte i epilimnion i 1999 og som holdt seg i 2000 og økte ytterligere etter kalkingen i august, sammenlignet med forholdene i 1998. De mer forsuringssømfintlige artene kommer tilbake i planktonet. Denne prosessen tar litt tid, noe som sannsynligvis var årsaken til at en ikke registrerte økningen alt i 1999 på tross av økning i innholdet av næringsstoffer da. Mange arter har vist seg å forsvinne fra planteplanktonsamfunnet når pH blir lavere enn ca. 5-5.5. Gruppen Chlorophyceae (grønnalger) har avtatt i mengde ettersom vannmassene er blitt mindre sure, som en ofte registrerer i forbindelse med kalking.

For dyreplanktonet i **Nordre Puttjern** konkluderte en med at hjuldyrene hadde svart på bedringen av pH-verdien i 1999 ved økt artsantall og markert økning i bestandene av flere arter. Denne gruppen dominerte dyreplanktonet totalt også i 2000. Krepsdyrplanktonet derimot forekom i 2000, som 1999, med bare et fåtall arter og svært lav biomasse. Totalt sett har derfor dyreplanktonet fortsatt en uvanlig sammensetning som viser at samfunnet ikke er normalisert ennå. Dataene for vannkvaliteten skulle ikke tilsi at vannet fortsatt virket toksisk på de fleste krepsdyrplankton-arter. Årsaken til den lave andelen og de små biomassene av krepsdyr var derfor mest sannsynlig at re-etableringen av større bestander vil ta noe lengre tid enn et par år. Hard beiting (predasjon) av evertebrate predatorer som svevemygg (*Chaoborus*) kan være en medvirkende årsak, dessuten kan dårlige oksygenforhold og  $H_2S$  i bunnvannet gjøre at bare de øverste 2-3 m hadde levelige forhold for dyreplankton i sommersesongen.

Av de tidligere undersøkte bekkelokalitetene ble Puttjernsbekken (P1) og Lutvannsbekken (L1) undersøkt også i 2000. Stasjonene i Lutvannsbekken (L0) og Krokktjernsbekken (Kr1) kom i tillegg i 1999. Disse ble også fulgt opp i 2000.

Vannkvaliteten i **Puttjernsbekken (P1)** var stort sett den samme i 2000 som i 1998 og 1999, selv om flere parametre varierte en del avhengig av om prøvetakingsstasjonen fikk vann hovedsakelig fra myrområdene vest for stasjonen eller fra Puttjernsbekken når det rant vann av betydning i den.

I **Lutvannsbekken (L1)** vil de kjemiske parametrene variere avhengig av om det meste av vannet i bekken kommer fra Lutvann via demningen, eller om det kommer relativt mye vann via tunnelen fra Krokktjern til Krokktjernsbekken. Verdiene for flere fysisk-kjemiske parametre er for det meste svært forskjellige i vannmassene i Lutvann og Krokktjern. Hvorledes dette påvirker forholdene ved stasjonen så en i august-september 1999. Krokktjernsbekken var da tørrlagt, og det meste av vannet i bekken kom fra Lutvann. Da registrerte en høyeste pH, høy konduktivitet, liten turbiditet, lite fargetall, lite organisk materiale (TOC) og svært lite aluminium. Tilsvarende var det lav pH, lav konduktivitet, og høyere turbiditet, farge og TOC i smeltevannsperioden på våren, når større del av avrenningsvannet til bekken kom via Krokktjernsbekken og områdene langs bekken. Gjennom sesongen 2000 var verdiene for de fleste målte parametre på stasjon L1 i store trekk som i 1999, selv om litt lavere fargetall og verdier for totalt organisk karbon (TOC) ble registrert i 2000.

Stasjon **Lutvannsbekken (L0)** ligger nedenfor utløpet over dammen i Lutvann, og vannet der har derfor tilnærmet samme vannkvalitet som i Lutvann. Variasjonene for de fleste kjemiske parametre på stasjon L0 var innenfor de samme intervaller i 2000 som i 1999. Bare turbiditeten viste høyere verdier sommeren 2000, noe som viser større partikkelinnhold.

**Krokktjernsbekken (Kr1)** I snøsmeltingsperioden var pH lav i denne bekken, mens den i perioder med vann fra Krokktjern, som blir kalket, hadde relativt høy pH. Verdiene var gjennomgående høyere i 2000 enn i 1999. Konduktiviteten var også høyere i 2000 enn i 1999, det samme var tilfelle med partikkel-innholdet målt som turbiditet. Fargeverdiene var i 2000 noe lavere enn i 1999, det samme gjaldt verdiene for TOC. Dette viser noe mindre tilførsler av humusholdig vann til Krokktjernsbekken. Forhøyete verdier for aluminium kom i forbindelse med snøsmelting og lavere pH, som i 1999.



**Konklusjonen** på overvåkingsundersøkelser i 1999 i Puttjernene var at hevingen av vannstanden i Nordre Puttjern, og den relativt stabile vannstanden med overløp store deler av sesongen, og metting av myrområdene rundt tjernet var vellykket for å bedre vannkvaliteten i tjernet. Selv om det ennå er et godt stykke frem til at forholdene er tilbake til tilstanden før lekkasjene til Romeriksporten startet, viser analyseresultatene for 2000 at bedringen fra 1998 til 1999 har holdt seg. Kalkingen i august gjorde at pH og konduktiviteten økte ytterligere.

Det er i undersøkelsesperioden registrert en økning i totalfosfor og i 2000 en tredobling i planteplanktonbiomasse i Nordre Puttjern. Det økte fosforinnholdet en registrerte fra 1998 til 1999 kan muligens skyldes at fosfor, som ble bundet under perioden med oksyderende forhold i myrområdene rundt tjernet når vannstanden sank, løstes ut igjen når vannstanden steg til normalt nivå, og en fikk reduserende forhold. Innholdet var høyt i 2000 også, men mindre enn i 1999. Det er derfor mulig at fosforinnholdet etterhvert vil minke. Årsaken til økningen i algebiomasse og artsdiversitet skyldes antagelig at den økende pH i vannmassene har gjort at mer forsuringfølsomme arter kommer tilbake i planteplanktonsamfunnet og at det økte fosforinnholdet har gitt økt algebiomasse. Det er rimelig å tro at det tar en tid for artene å etablere seg og reagere på de endrete forholdene i vannmassene.

Forholdene i Søndre Puttjern må en anta er mye lik forholdene slik de var i Nordre Puttjern før lekkasjene og sammenligner en de to tjernene på denne bakgrunn er det klart at det er et stykke frem til Nordre Puttjern blir helt restituert.

Analyseverdiene for Puttjernsbekken i 2000 lå i store trekk omtrent på samme nivå som i 1998 og 1999 for de fleste parametre, selv om det var en del variasjoner gjennom sesongen.

Lutvannsbekken (L1) viser heller ingen store forskjeller mellom resultatene for 2000 og de tilsvarende for 1998 og 1999, selv om enkelte parametre viser en svak tendens til endringer. Analyseresultatene her vil variere avhengig av om vann fra Lutvann dominerer i bekken, eller vannet blir blandet med relativt mye smeltevann eller avrenning fra bekkens nærområder og tilførsler fra Kroktjernsbekken.

På neste side er fremstilt klassifisering av tilstand for ulike miljøparametre i Søndre og Nordre Puttjern i 1998, 1999 og 2000 (etter Bratli og medarb. 1997) for å vise endringene i vannkvalitet i perioden og forskjellene mellom de to tjernene.

**Klassifisering av tilstand for Søndre og Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000. Etter SFTs  
Veiledning 97:04: "Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann".**

Lokalitet	pH	Alk	Turb	Farge	TOC	Tot-P	Tot-N	Jern	Klorofyll	Samlet
Søndre Puttjern 1998										
Søndre Puttjern 1999										
Søndre Puttjern 2000										

\*) Det ble ikke analysert på alkalitet i prøvene fra Søndre og Nordre Puttjern i 2000.

Lokalitet	pH	Alk	Turb	Farge	TOC	Tot-P	Tot-N	Jern	Klorofyll	Samlet
Nordre Puttjern 1998										
Nordre Puttjern 1999										
Nordre Puttjern 2000										

Klasse I "Meget god" tilstand



Klasse IV "Dårlig" tilstand



Klasse II "God" tilstand



Klasse V "Meget dårlig" tilstand



Klasse III "Mindre god" tilstand



## Summary

Title: Monitoring of water quality during 2000 of the tarns Søndre and Nordre Puttjern and the brooks Puttjernsbekken and Lutvannsbekken in the Østmarka area. A comparison with the results from the monitoring in 1998 and 1999.

Year: 2000

Author: Pål Brettum and Jarl Eivind Løvik

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-3963-4

Building the railway tunnel Romeriksporten caused leakage of water into the tunnel, and lowering of the ground-water level in parts of the Østmarka area in 1997-98. A comprehensive investigation of the water quality and ecological status in lakes and brooks was carried out in 1998. This investigation showed that most of the damage of the leakage was restricted to the lake Nordre Puttjern, where the water level in 1998 was 3-4 m below the outlet level.

Raising the water level in lake Nordre Puttjern by injection of leakage water from the tunnel to the ground, has given a better water quality to this tarn. However, it is still far from the conditions before the leakage started. The report gives the monitoring results of 2000 of the water bodies of Søndre and Nordre Puttjern.

Analyses of samples collected in the brooks Puttjernsbekken and Lutvannsbekken show that these brooks were not discernibly affected by the leakage, and that the conditions in 2000, compared to 1998 and 1999, were approximately the same. The results of the analyses in Lutvannsbekken are dependent on whether the water in the brook are dominated by water from lake Lutvann or from the brook Kroktjernsbekken which is more humic and acidic.

## 1. Innledning

Lekkasjer til Romeriksporten i forbindelse med byggingen av denne, berørte en del vann og vassdrag i Østmarka i områdene over strekningen for tunnelen. I den forbindelse ble det gjennomført en omfattende undersøkelse i 1998 av en rekke vannforekomster som en antok kunne være berørt av lekkasjene. Undersøkelsene ble gjennomført av NIVA (Norsk institutt for vannforskning) og LFI (Laboratorium for fersvannsøkologi og innlanfiske), med NSB Gardermobanen A/S som oppdragsgiver.

Parallellt med dette ble det satt igang tettningarbeider inne i tunnelen i områdene der lekkasjene var størst. Dette var i hovedsak under Puttjernsområdene og under Lutvatn. Under Lutvatn greide en å tette lekkasjene til et tilfredstillende nivå, mens en under Puttjernsområdene ikke nådde et akseptabelt nivå.

For å bedre forholdene rundt Puttjernsområdet, og særlig Nordre Puttjern, ble det i 1999 satt igang arbeid der en pumpet vannet, som kom til tunnelen som lekkasjer, tilbake til fjellet via et infiltrasjonsanlegg, slik at dette skulle skape et mottrykk til det inntrengende vannet. Dermed ville en dempe lekkasjene og få grunnvannsnivået og vannstanden i tjernet tilbake til tilstanden slik den var før arbeidene med Romeriksporten startet. Dette anlegget har nå fungert i to sesonger.

Etter at undersøkelsene i 1998 var gjennomført og resultatene rapportert (Brettum og Løvik 1999), ble NIVA bedt om å utforme og gjennomføre en overvåkingsundersøkelse av de områdene der det var registrert endringer på grunn av lekkasjene. Overvåkingsundersøkelsene i 1999 omfattet i første rekke Puttjernene og Puttjernsbekken. Resultatene fra overvåkingen i 1999 er rapportert i Brettum og Løvik (1999).

Fordi LFI skulle gjennomføre en undersøkelse av fisk- og bunndyrforholdene i Lutvannsbekken, var det ønskelig med en undersøkelse av de fysisk-kjemiske forholdene også i dette bekkesystemet. Prøver for slike analyser ble derfor i tillegg samlet inn fra tre stasjoner der i 1999.

Overvåkingsprogrammet for 1999 er i store trekk fulgt og gjennomført også i sesongen 2000. I forhold til programmet for 1999 ble imidlertid bekkestasjonen i Munkebekken (M1) ikke tatt med da en fant at denne ikke lenger var egnet som overvåkingsstasjon på grunn av lokale tilførsler.

Denne rapporten omfatter resultatene av overvåkingsundersøkelsene i 2000, og en sammenligning med resultatene fra 1998 og 1999.

## 2. Prøvetakingsstasjoner, -program og frekvens

De aktuelle prøvetakingsstasjonene i forbindelse med overvåkingsundersøkelsene i 2000, er vist i figur 1.

### 2.1 Innsjølokalitetene

Som i 1999 var det under overvåkingsundersøkelsene i 2000 bare de to små tjernene Nordre Puttjern og Søndre Puttjern av innsjølokaliteter som ble undersøkt. Søndre Puttjern viste seg under undersøkelsene i 1998 ikke å være påvirket i nevneverdig grad av lekkasjene. Det har derfor fungert som referanselokalitet under overvåkingsundersøkelsene i 1999 og 2000, mot forholdene i Nordre

Puttjern. En må anta at forholdene i Søndre og Nordre Puttjern var svært like før lekkasjene til Romeriksporten. Søndre Puttjern, som renner nordover til Nordre Puttjern, er derfor en god referanselokalitet for å undersøke hvor mye lekkasjene har endret vannkvaliteten i Nordre Puttjern, og hvor langt den har fjernet seg fra det normale, og for å registrere eventuelle bedringer.

Overvåkingsprogrammet for 2000 startet med første prøvetaking i mars mens isen ennå lå på tjernene, og prøver fra tjernene ble samlet inn én gang i måneden i perioden mars-oktober med unntak for april.

Prøvene for fysisk-kjemiske analyser omfattet blandprøver fra 0-6 m sjiktet i Søndre Puttjern og 0-2 m sjiktet i Nordre Puttjern. I Nordre Puttjern ble bare tatt med 0-2 m for å unngå H<sub>2</sub>S-holdig vann. I tillegg kom prøvene fra 8 m dyp i Søndre Puttjern og 2, 4 og 7 m dyp i Nordre Puttjern.

Analyseprogrammet for de fysisk-kjemiske blandprøvene omfattet pH, konduktivitet, turbiditet, farge, tot-P, PO<sub>4</sub>-P, tot-N, NH<sub>4</sub>, NO<sub>3</sub>, TOC, Fe, Mn, Na, Ca, Mg, K, Cl og SO<sub>4</sub>. For på en enkel måte å følge med i utviklingen i ulike dyp i Nordre Puttjern, ble det samlet inn ekstra prøver fra 2, 4 og 7 m dyp, ved hver prøvetakingsdato. Disse ble analysert med henyn på pH, konduktivitet, Fe og SO<sub>4</sub>. Prøver for disse parametrene ble også samlet inn fra 8 m dyp i Søndre Puttjern for å kunne sammenligne forholdene i dypvannet.

Prøver for planteplankton og dyreplankton ble samlet inn som blandprøver i epilimnion, ved hvert prøvetakingstidspunkt i vekstsesongen mai-oktober, samtidig med vannprøver for analyse av klorofyll. Ved prøvetakingene i august, september og oktober 1999 ble blandprøvene for klorofyll tatt noe for dypt. Dette gjorde at store bestander av fotosyntetiserende bakterier kom med i prøvene, og ga et unormalt høyt klorofyllinnhold. Slike bakterier ligger ofte i store konsentrasjoner i området mellom oksygenholdig og oksygenfritt, H<sub>2</sub>S-holdig vann. Denne overgangssonen kan ofte være svært skarp, slik at en lett får vannhenteren ned under dette sjiktet, og dermed får med store konsentrasjoner av disse bakteriene. For å unngå dette i 2000, ble blandprøvene da tatt i 0-2 m sjiktet.

I forbindelse med prøvetakingsinnsamlingen ble temperatur og oksygen målt i ulike dyp langs en vertikal gradient fra overflaten til bunnen over det dypeste området i innsjøene. Til innsamlingen av vannprøvene ble det benyttet en 3 liters Limnos-henter.

## 2.2 Bekkelokalitetene

I tillegg til prøveinnsamling og analyse av prøver fra de to Puttjernene omfattet overvåkingsprogrammet i 2000 også fysisk-kjemiske analyser av prøver samlet inn fra enkelte bekkestasjoner.

Disse stasjonene var:

- Puttjernsbekken (P1) (før samløp med Grønnliabekken)
- Lutvannsbekken (L0) (ved utløpet av Lutvatn, før samløp med Kroktjernsbekken)
- Lutvannsbekken (L1) ( i nedre del av bekken )
- Kroktjernsbekken (Kr1) (før samløp med Lutvannsbekken)

Fra stasjonene Puttjernsbekken (P1) og Lutvannsbekken (L1) ble det også samlet inn prøver i 1998 og 1999. Stasjonene Lutvannsbekken (L0) og Kroktjernsbekken (Kr1) var nye i forbindelse med overvåkingen i 1999 og har også vært med i 2000. De er med for bedre å få et bilde av hele bekkesystemet mellom Lutvatn og Nøklevatn. I forbindelse med de fisk- og bunndyrundersøkelsene som LFI foretar i Lutvannsbekken var dette av interesse.

Fra bekkestasjonene ble det også samlet inn prøver én gang i måneden i 2000, med unntak av april. Første prøveinnsamling ble foretatt 28.mars. Prøver ble samlet inn til og med oktober.

Analyseprogrammet for prøvene fra bekkene omfattet pH, konduktivitet, alkalitet, turbiditet, farge, tot-P, tot-N, TOC, Al/R og Al/Il.

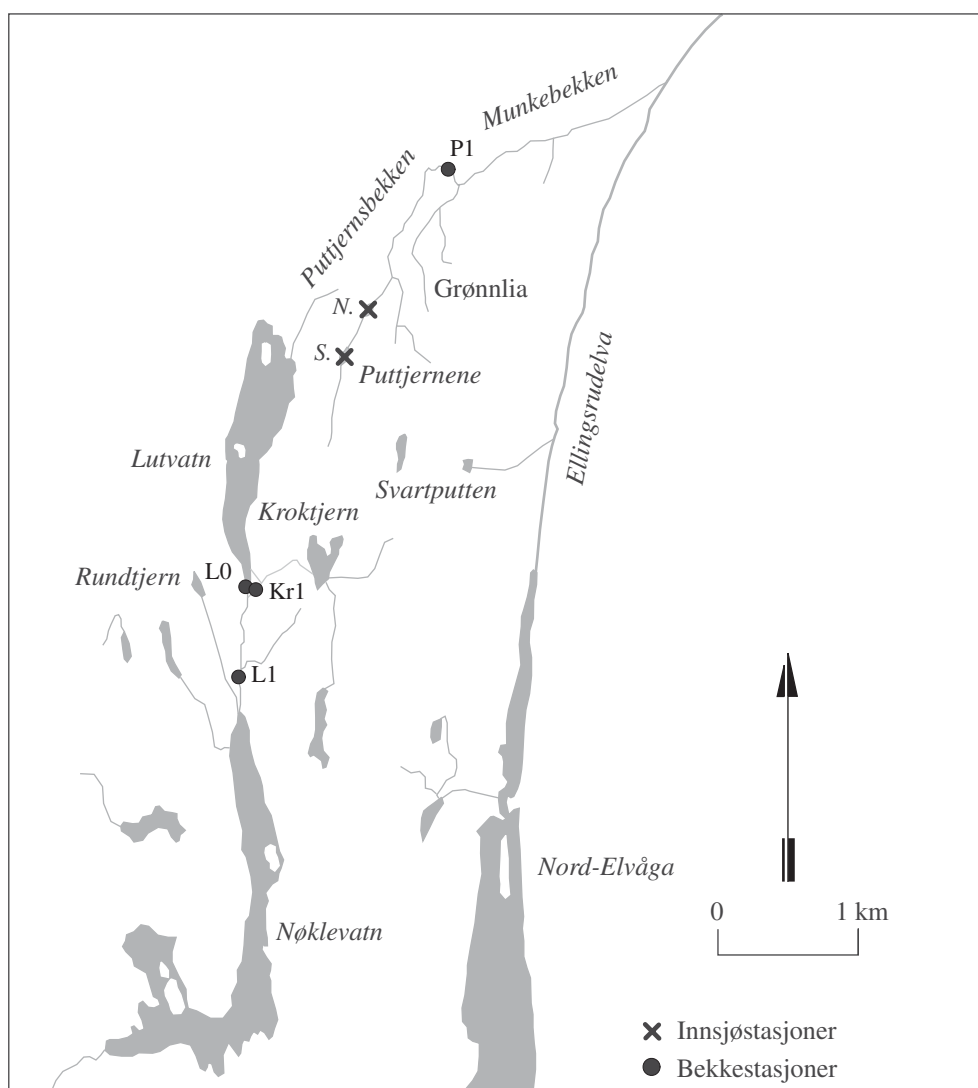


Fig. 1 Kartskisse som viser plasseringen av prøvetakingsstasjonene i tjernene og bekkene i overvåkingsundersøkelsene 2000.

### 3. Nedbør- og lufttemperatur

I figur 2 er fremstilt variasjonene i nedbør og lufttemperatur målt av DNMI, Det norske meteorologiske institutt, på Blindern. Disse registreringene bør være representative i store trekk for variasjonene i nedbør og lufttemperatur slik de var i Østmarkas vestre deler i 1998, 1999 og 2000, selv om enkelte lokale forhold vil spille inn. Figurene viser månedsmiddel for temperaturen de tre årene og nedbørmengden pr. måned for de samme årene sammen med normalverdiene. Da månedsmiddel er grove mål for å vurdere avrenningen til bekkene, særlig i periodene før prøvetakingene, har en sett mer i detalj på måleresultatene for nedbør i perioden før tidspunktene for prøvetakingene, selv om disse ikke er tatt med i figuren.

Figuren viser at temperaturen sommeren 2000 i stor grad fulgte normaltemperaturen på ettersommeren og tidlig høst men lå noe over om våren og i september og noe under i juni. Normaltemperaturen er snittet av målingene fra 1961-1990. På våren var temperaturen i 2000 en del over både normalen og temperaturen i 1999, mens den utover sommeren og høsten lå betydelig under temperaturen i 1999. Som i 1998 og i 1999 lå temperaturen i år 2000 godt over det normale utover ettervinteren og også høyere enn i 1999.

Ser en på nedbørsforholdene gjennom de to årene 1999 og 2000 viser disse at nedbørsmengden som månedssum i 2000 lå lavere enn normalen i vintermånedene og svært mye lavere enn i 1999. I april og i mai lå nedbøren i 2000 over det normale og betydelig over nedbøren i 1999. I juni og juli var mengdene omtrent som normalt, mens august hadde store nedbørsmengder. Store deler av september kom det lite nedbør, derfor var månedssummen liten. I 1999 var det mye nedbør i september. I oktober 2000 kom det til gjengjeld store nedbørsmengder, noe som ga seg utslag i stor vannføring i bekkene og høy vannstand i Puttjernene (se figur 3). Som eksempler kom det 4.april 22 mm og 3.august 27 mm, mens det 10.oktober og 30.oktober kom henholdsvis 36 og 30 mm på et døgn. Dette er høye døgnsummer for nedbør i Osloregionen. I september da det bare kom 54 mm, som er 60 % av normalnedbør, kom det meste av dette, 36 mm, i løpet av to dager. Etter lang tørke er det klart at kraftige regnskyll har stor utspykende effekt.

### 4. Vannstands- og vannføringsvariasjoner

Vannstandsmålingene og vannføringsdata i de undersøkte bekkene og innsjøene ble samlet inn og bearbeidet av NVE (Norges vassdrags- og energiverk) frem til årsskiftet 1999/2000. I 2000 ble vannstandsdataene for Puttjernene registrert av NSB Gardermobanen A/S.

#### 4.1 Vannstandsvariasjoner

I figur 3 er fremstilt vannstandsvariasjonene for de to undersøkte innsjølokalitetene, Søndre- og Nordre Puttjern.

##### Søndre Puttjern

I motsetning til i 1999 rant det bare unntaksvis vann ut av Søndre Puttjern i utløpet mot nord til Nordre Puttjern i 2000. Overløpshøyden gitt i kotehøyde er 265.10 m for dette tjernet. Som figur 3 viser var

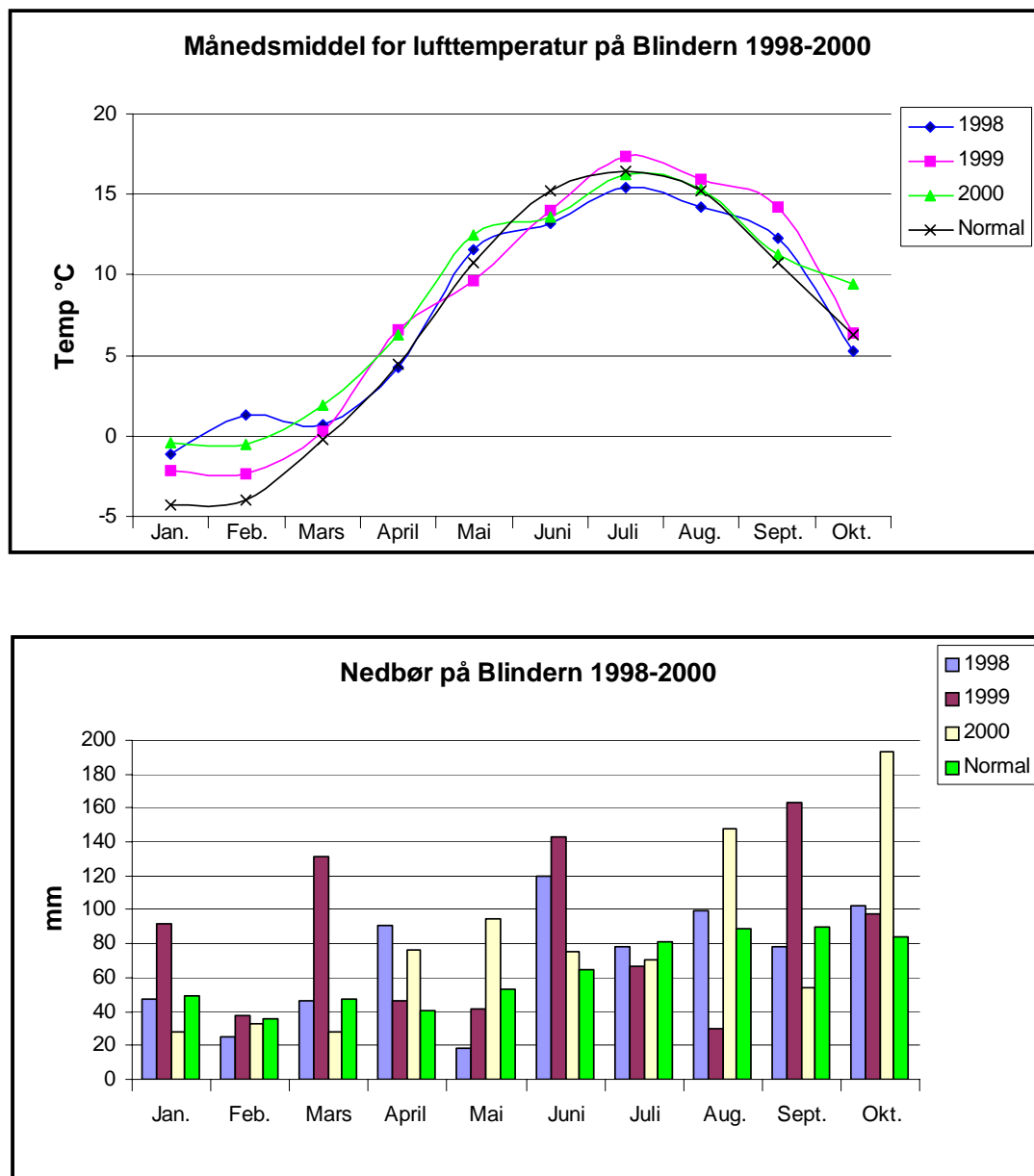


Fig. 2 Variasjoner i månedsmiddel for lufttemperatur og nedbørsmengde pr.måned på Blindern 1998-2000.



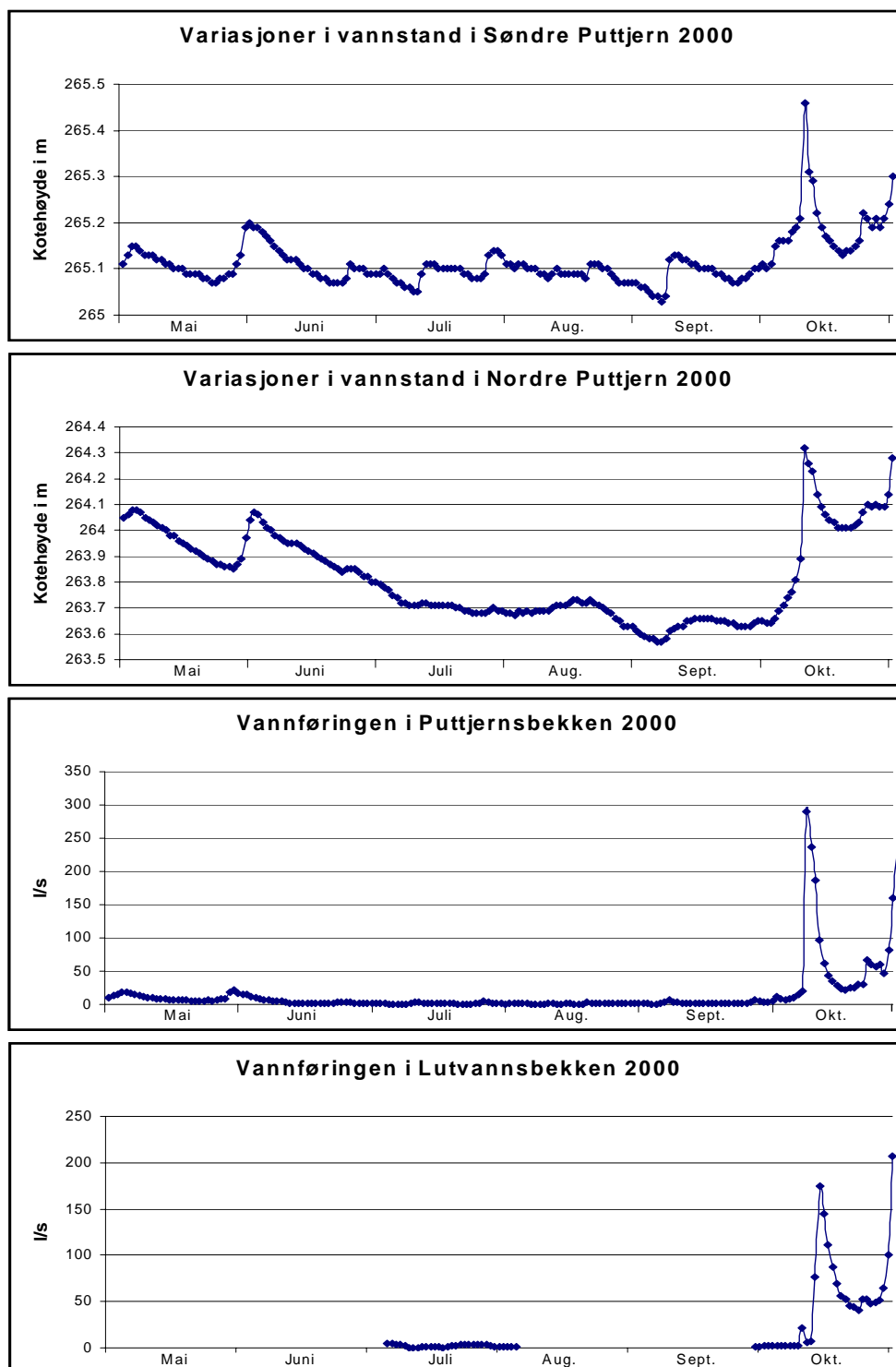


Fig. 3 Variasjoner i vannstand i Søndre og Nordre Puttjern og vannføringen i Puttjernsbekken (P1) og Lutvannsbekken (L0) i 2000.

det bare i perioder i mai og juni at vannstanden var så høy at den nådde dette nivået. I hele oktober derimot, med mye nedbør (se figur 2), rant det vann ut av Søndre Puttjern. Da lå vannstanden opptil 30 cm over utløpsnivået, og det var da relativt sett stor avrenning fra Søndre Puttjern til bekken.

### **Nordre Puttjern**

Kotehøyden for overløp fra Nordre Puttjern til Puttjernsbekken er 263.90 m. Vannstandsmålingene som er vist i figur 3 for Nordre Puttjern viser at vann rant ut av tjernet til Puttjernsbekken bare i korte perioder i mai og juni 2000 i motsetning til i 1999 da det rant ut store deler av sesongen. Det meste av sommeren og tidlig høst var vannstanden 20-30 cm under overløpshøyden. Tiltaket i Romeriksporten med å pumpe lekkasjevannet til tunnelen tilbake inn i fjellet ved et infiltrasjonsanlegg for å motvirke grunnvannsdrenering, har imidlertid holdt grunnvannspeilet i Puttjerns-området mer stabilt og også opprettholdt en tilnærmet normal vannstand i tjernet. Selv om vannstanden sank med 20-30 cm i sommer og tidlig høst perioden, virket tjernet forholdsvis fullt hele denne perioden. Som i Søndre Puttjern ga den kraftige nedbøren i oktober økte tilførsler av vann også til Nordre Puttjern. Vannstanden steg til godt over overløpshøyden slik at vann rant ut i Puttjernsbekken.

Det er en fordel at en regulerer nivået i tjernet ved hjelp av infiltreringsanlegget slik at en i størst mulig grad holder fullt basseng. Dette for å holde grunnvannstanden og for at myrområdene rundt tjernet ikke skal bli tørrlagt slik tilstanden var i 1997-98.

## **4.2 Vannføringsmålinger**

Vannføringsmålinger foreligger for 2000 fra målestasjoner i nærheten av to av de bekkelokalitetene som vannprøver er samlet inn fra i forbindelse med undersøkelsene. Disse målestasjonene er ved stasjonen i Puttjernbekken (P1) og i Lutvannsbekken etter utløp fra Lutvatn ved stasjon Lutvannsbekken (L0) (figur 3).

Det var betydelig mindre tilførsler fra nedbørfeltene for Søndre- og Nordre Puttjern til Puttjernsbekken i 2000 enn i 1999, slik at vann bare unntaksvis rant ut fra Nordre Puttjern til bekken. Vannføringsmålingene for Puttjernsbekken viser derfor svært lave verdier gjennom hele sesongen 2000 frem til oktober. I oktober økte vannføringen drastisk på grunn av de store nedbørmengdene og overløp fra Nordre Puttjern, foruten tilførsler fra resten av nedbørfeltet. Maksimum i oktober med hele 289 l/s.

Målingene i Lutvannsbekken ble svært amputert i sesongen 2000 på grunn av tekniske vanskeligheter. Det er imidlertid sannsynlig at det har vært svært liten vannføring også her gjennom det meste av sesongen, noe den korte perioden med målinger i juli tyder på. Også her var det en kraftig vannføring i oktober med 207 l/s som høyeste registrerte verdi. Det har vært uttrykt et ønske om en minstevannføring på 200 l/min i bekken. Det tilsvarer drøyt 3 l/s. Målingene for juli viser at det var godt under denne vannføringen flere dager i den måneden.

På grunn av fiskestammer i Lutvannsbekken og bunndyrfaunaen er det viktig at en kan opprettholde en minstevannføring i perioder med liten nedbør. Lutvannsbekken får tilførsler fra Kroktjernsbekken under normale forhold, men ved en del av prøvetakingstidspunktene var vannføringen i denne bekken svært liten. I 1999 var Kroktjernsbekken tørrlagt på to av prøvetakingstidspunktene.

## 5. Fysisk-kjemiske forhold og plankton

### 5.1 Innsjøer

#### 5.1.1 Fysisk-kjemiske forhold

Analysemetodikken for de fysisk-kjemiske parametrene følger Norsk Standard (NS). Til analyse av næringssaltene fosfor og nitrogen er benyttet en automatisert versjon av Norsk Standard. Analysene av TOC (totalt organisk karbon) er utført gjennom oksydasjon ved UV-belysning og peroksodisulfat.

Det er i hovedsak de analyserte blandprøvene fra epilimnion som danner grunnlaget for omtale og bedømmelse av de kjemisk-fysiske forhold i innsjøene.

Variasjonene i de viktigste fysisk-kjemiske parametrene for bedømmelse av miljøkvalitet etter SFTs: "Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann", Veiledning 97:04 (Bratli og medarb. 1997), er fremstilt for Søndre og Nordre Puttjern i forbindelse med sammendraget foran. Forøvrig er alle analyseresultater å finne under vedlegget bakerst i rapporten.

Som nevnt tidligere ble det fra begge de undersøkte innsjølokalitetene, Søndre og Nordre Puttjern, målt temperatur og oksygenkonsentrasjon i ulike dyp gjennom hele vannsøylen over de dypeste områdene ved hvert prøvetakingstidspunkt. Målingene av oksygeninnholdet ble utført ved hjelp av et oxymeter.

#### Søndre Puttjern

##### **Temperatur- og oksygenforhold** (figur 4 , tabell 1 i vedlegg)

Temperaturvariasjonene i Søndre Puttjern fra overflaten til bunnområdene ved største dyp viser en typisk vintersituasjon 28.mars mens isen lå på tjernet. Det var en jevnt stigende temperaturkurve gjennom vannsøylen under isen, fra 0.4 °C i de øverste vannlag til 4.8 °C i bunnlagene. I slutten av mai lå temperaturen i vannmassene under 5-6 m dyp fremdeles mellom 4.7 og 4.9 °C mens det hadde skjedd en temperaturøkning til mer enn 12.0 °C i de øverste vannlagene, på grunn av soloppvarmingen av overflatelagene.

Temperaturen i sommerperioden juni, juli og august viser omtrent den samme temperaturen i overflaten på alle tre måletidspunktene, ca. 16 °C. Under ca. 6-7 m lå temperaturen hele sommerperioden lavere enn 6 °C. Figuren viser at termoklinen ble skarpere utover sommeren, og i august var det omtrent samme temperatur, mellom 15.5-16 °C, ned til 3 m. I september var termoklinen brutt ned og det ble registrert jevn temperatur på 9.6-9.7 °C og gjennomblandete lag helt ned til 5 m, med en reduksjon i temperaturen derfra og ned til 8 m. Under 8 m lå temperaturen på rundt 5.5 °C. Registreringen av temperaturen i oktober viser en ytterligere reduksjon av temperaturen til mellom 8.5-9 °C og god gjennomblanding ned til 6 m dyp. Blanding av vannmassene og nedbrytning av termoklinen var nesten fullført på dette tidspunktet.

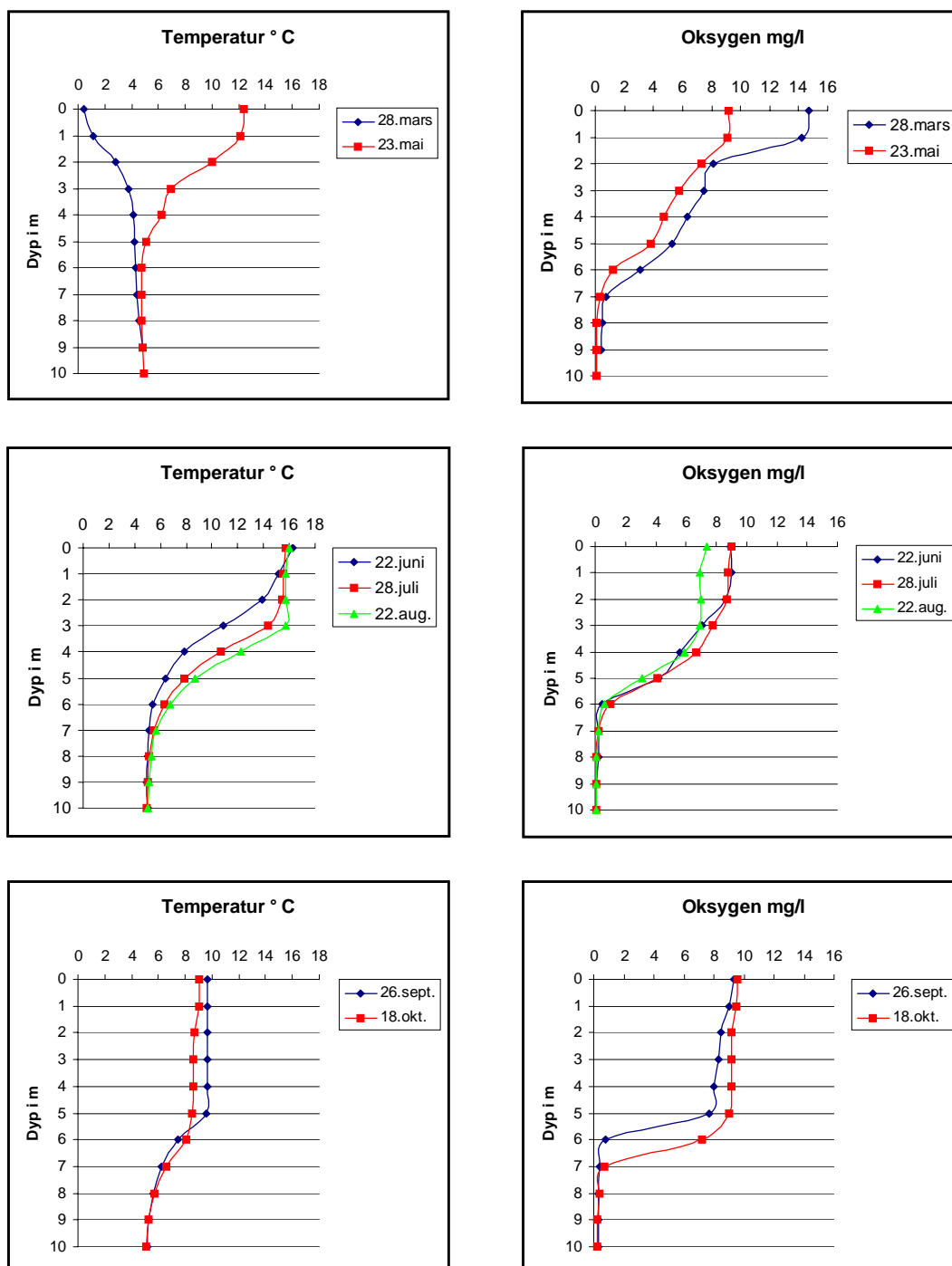


Fig. 4 Vertikale variasjoner i temperatur og oksygen i Søndre Puttjern 2000.

I mars var oksygeninnholdet i den øverste meteren svært høyt med mer enn 14 mg/l O<sub>2</sub>. Deretter sank det raskt til 8 mg/l i løpet av én meter. I sjiktet 2-6 m dyp var det relativt høyt oksygeninnhold i mars med mellom 3-8 mg/l. Under ca. 7 m dyp var det oksygenfritt og lukt av hydrogensulfid.

I mai var oksygeninnholdet i den øverste meteren redusert til omkring 9 mg/l O<sub>2</sub> og oksygeninnholdet avtok jevnt ned til 6-7 m. Under 7 m var det tilnærmet oksygenfritt i mai, men det var ingen lukt av hydrogensulfid fra vannet før på 8-9 m dyp.

I juni og juli viser oksygenkurvene i store trekk samme vertikale forløp, med oksygeninnhold omkring 9 mg/l O<sub>2</sub> i de øverste par metre, og en jevn reduksjon i oksygeninnholdet til 0.5-1 mg/l O<sub>2</sub> ved ca. 6 m dyp. Under der var det praktisk talt oksygenfritt på begge prøvetakingstidspunktene, men det luktet ikke H<sub>2</sub>S av vannet før på ca. 8-9 m dyp. Oksygenkurven for august viser lavere oksygeninnhold med ca. 7 mg/l O<sub>2</sub> ned til ca. 3 m dyp. Dypere ned følger kurven i store trekk kurven for juni og juli.

Heller ikke i august var det lukt av hydrogensulfid før på 8-9 m dyp, selv om det var praktisk talt oksygenfritt vann under 6 m dyp. I september var oksygenrikere vann, med 8-9 mg/l O<sub>2</sub>, blandet inn i vannmassene ned til 5 m dyp. Melom 5 og 6 m ble oksygeninnholdet raskt redusert til praktisk talt oksygenfritt, men ingen lukt av hydrogensulfid her heller før ca. 8 m dyp. I oktober var innblandingen av oksygenrikere vann med mer enn 7-9 mg/l O<sub>2</sub> trengt ned til 6 m dyp. Deretter skjedde en rask reduksjon til nær oksygenfritt mellom 6-7 m. Ingen H<sub>2</sub>S lukt i oktober heller før nær ned til bunnen (ca. 9-10 m dyp).

**Kjemiske forhold** (figur 5 og 6, og tabell 3 i vedlegget)

Søndre Puttjern har et lite nedbørfelt, med hovedtilførsler fra områder syd for tjernet. En del av nedbørfeltet er myrområder. Tjernet er kalket flere ganger gjennom 90-årene men ikke i 1999, ifølge Oslomarkas Fiskeadministrasjon (OFA). Det ble gjennomført en kalking av begge Puttjernene 7. august 2000.

Figur 5 viser at vannmassene i Søndre Puttjern har hatt en forholdsvis høy pH gjennom sesongen 2000 som i 1999, selv om gjennomsnittsverdien av registreringene i 2000 var litt lavere enn for 1999, henholdsvis 6.66 og 6.76. Som figuren viser steg verdiene for pH i august og september 2000 etter kalkingen, for så å synke igjen i perioden med mye nedbør i oktober. I 1998 ble det kalket i området, og pH var da i gjennomsnitt 7.01 for sesongen. Det ble ikke analysert på alkalitet i 2000, men i 1999 lå den mellom 0.116 og 0.344 mmol/l.

Kalsiuminnholdet, som i blandprøvene i 1998 varierte mellom 4.98 og 9.51 mg/l Ca, varierte i 1999 mellom 4.19 og 7.86 mg/l Ca og i 2000 mellom 3.54 og 7.88 mg/l Ca. Konduktiviteten i Søndre Puttjern hadde også i 2000 lavere verdier i gjennomsnitt for sesongen enn i 1999 og 1998, som figuren viser. Gjennomsnittsverdien var 4.05 mS/m, mens den i 1998 var 5.11 mS/m og i 1999 4.30 mS/m. Konduktiviteten og pH sank langsomt i første halvdel av sesongen 2000 frem til august. Etter dette steg verdiene for kalsium og konduktivitet sterkt i august og september for så å synke igjen i forbindelse med nedbør i oktober (se vedlegg tabell 3).

Gjennom hele sesongen 2000 var turbiditeten noe høyere enn de to foregående årene. Tallene viser at vannmassene i Søndre Puttjern likevel hadde et lite partikkelinnhold. I 2000 var gjennomsnittet på 0.75 FTU, mens det var på 0.53 FTU og 0.55 FTU i 1998 og 1999.

Fargetallene var forholdsvis høye gjennom hele sesongen i Søndre Puttjern i 2000, særlig i oktober med stor nedbør og utvasking av humusstoffer til tjernet. Med unntak av oktober var det likevel lavere enn i 1999, da de varierte mellom 24.9 og 43.4 med et snitt på 35.8 mg/l Pt. Verdiene varierte mellom

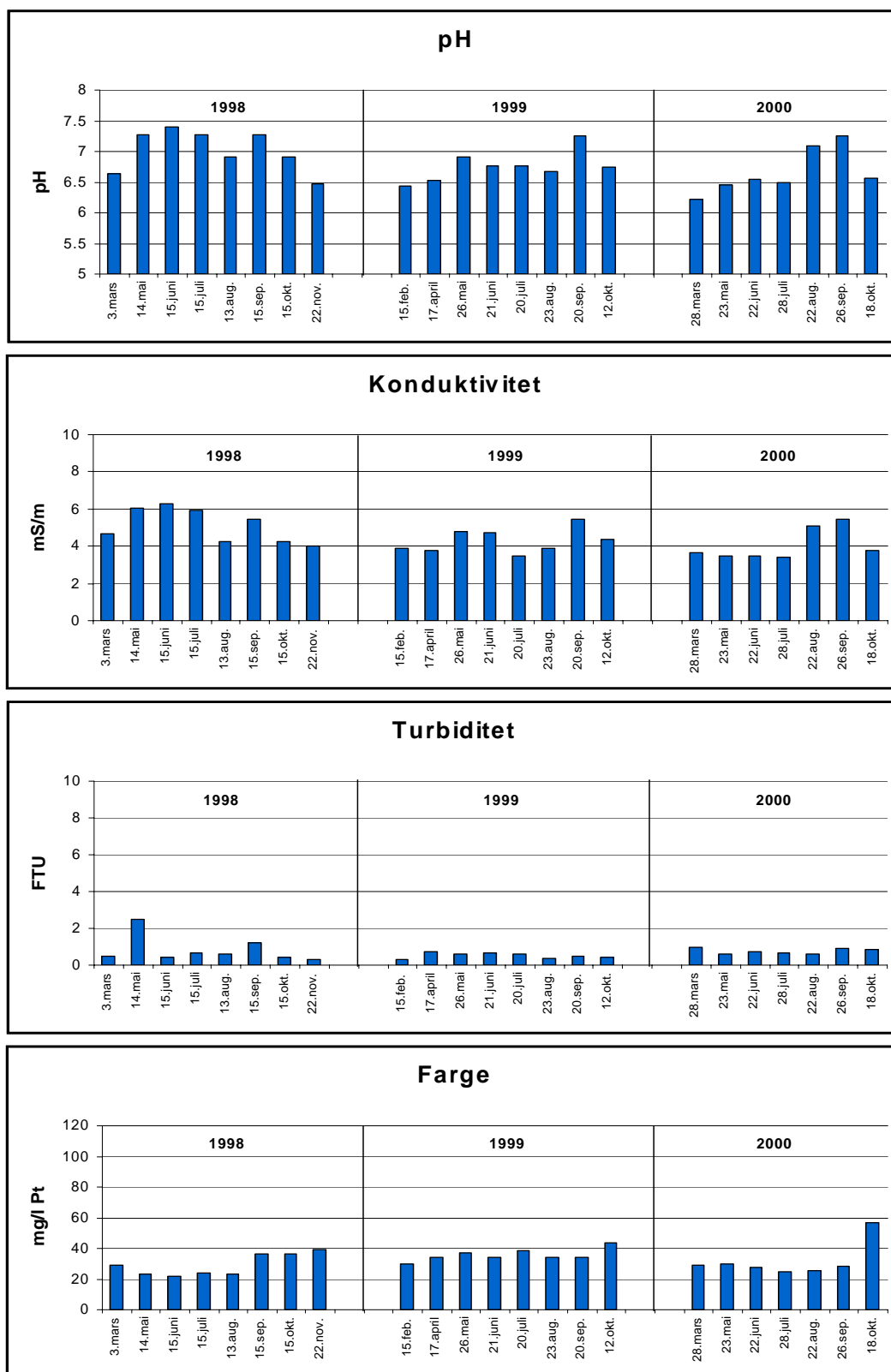


Fig. 5 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Søndre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

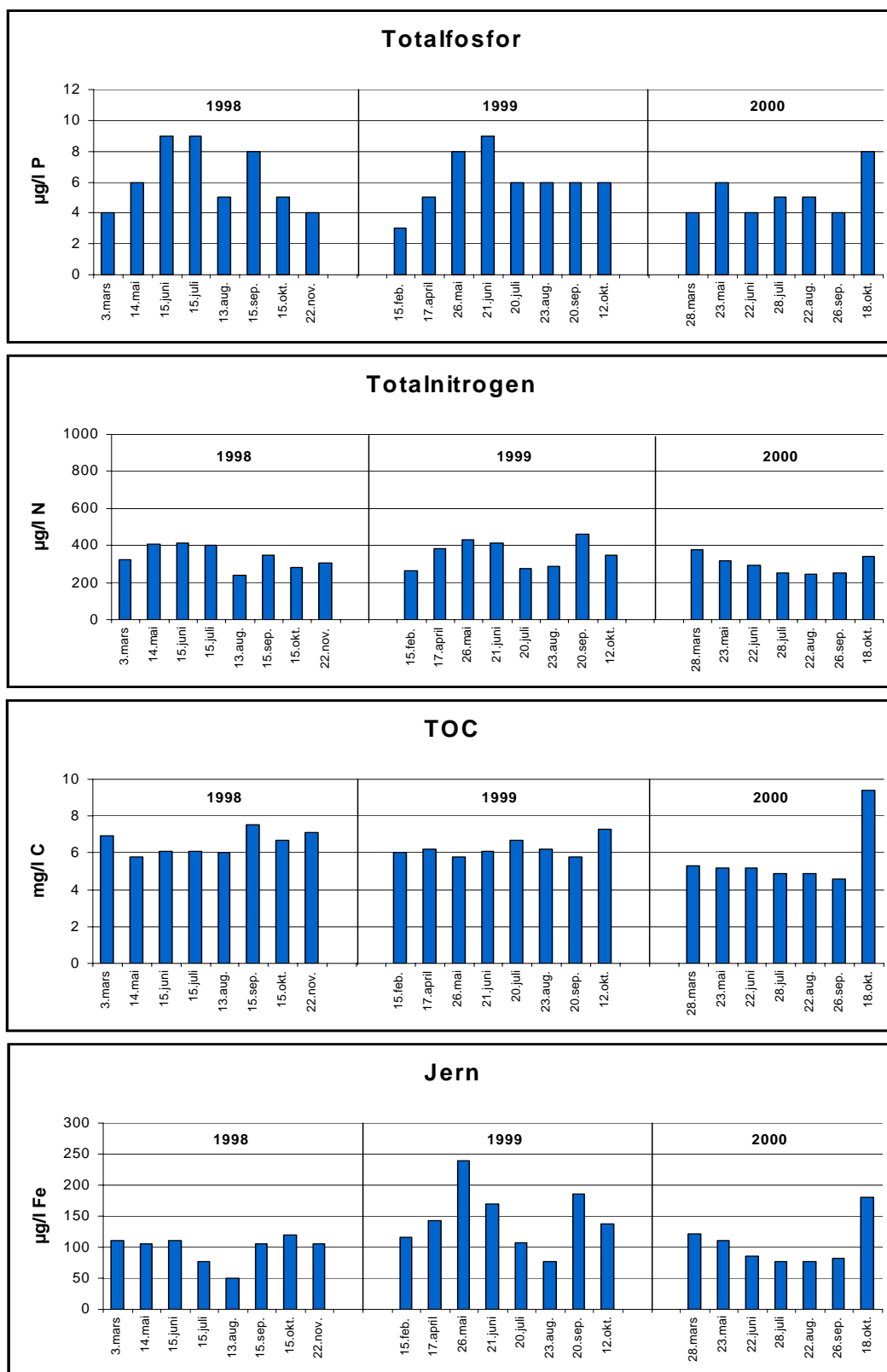


Fig. 6 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og jern i Søndre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

24.9 og 56.7 (oktober), men snittet var på 31.7 mg/l Pt i 2000. I 1998 varierte verdiene mellom 21.7 og 39.6 mg/l Pt med et snitt på 29.2 for blandprøvene. Som figur 5 viser ligger også variasjonene i fargetall omtrent på det samme nivå de tre årene.

Innholdet av totalt organisk karbon (TOC), var relativt jevnt gjennom sesongen, med unntak for oktober, og varierte for blandprøvene mellom 4.6 og 9.4 (oktober) mg/l C. Gjennomsnittet var 5.6 mg/l C. Figuren viser at det gjennomgående var mindre organisk karbon (TOC), med unntak for verdien i oktober, enn i 1998 og 1999. Selv medregnet oktoberverdien blir snittet for sesongen 2000 mindre enn de tidligere årene.

Innholdet av jern varierte en god del mer gjennom sesongen i 1999 enn i 1998, og til tider var det betydelig høyere verdier. I 2000 derimot ble det registrert lavere verdier for jern det meste av sesongen sammenlignet med 1999, og omtrent på nivå med målingene i 1998. Oktoberprøven viste høyere verdier også for jern i 2000. Jerninnholdet varierte i 2000 mellom 77 og 180 (oktober) µg/l Fe med et snitt på 105 µg/l Fe. Variasjonene i jerninnhold i 1999 var fra 240 µg/l Fe i mai og 185 i september med mye vann i terrenget og høy vannstand, til 77 µg/l Fe i august etter lengre tids tørke og lav vannstand. Snittet var da 146 µg/l Fe. I 1998 var verdiene generelt lavere og jevnere gjennom sesongen, fra maksimum på 120 µg/l Fe i oktober til minimum 50 µg/l Fe i august og et snitt på 99 µg/l Fe.

Figur 6 viser at innholdet av totalfosfor og totalnitrogen i vannmassene i Søndre Puttjern varierte tilnærmet innenfor det samme intervallet både i 1998, 1999 og 2000. I 1998 mellom 4 og 9 med snitt 6.25 g/l P, i 1999 mellom 3 og 9 med et snitt på 6.13 µg/l P og i 2000 mellom 4 og 8 med et snitt på 5.14 µg/l P. Totalnitrogen varierte mellom 240 og 415 med et snitt på 341 µg/l N i 1998, mellom 265 og 460 med et snitt på 358 µg/l N i 1999 og mellom 245 og 375 med et snitt på 296 µg/l N i 2000. Innholdet av fosfat lå gjennom hele sesongen 2000 på 1 eller mindre enn 1 µg/l P, og innholdet av nitrat sank til mindre enn 1 i august mens planteplanktonbiomassen var størst i Søndre Puttjern (se under kapittel 5.1.2 om planteplankton og klorofyll).

## **Nordre Puttjern**

### **Temperatur- og oksygenforhold** (figur 7, tabell 2 i vedlegg)

Temperaturvariasjonene i Nordre Puttjern fra overflaten til bunnområdene ved største dyp viser for 28.mars 2000 en jevn økning i temperaturen fra 0.4 °C rett under isen til høyeste temperatur på 5.5 °C i 8 m dyp. Det interessante er at temperaturkurven viser økning hele veien ned til bunnlagene, og ingen knekk på kurven slik en så for Søndre Puttjern. Det var omkring 0.8-1 grad høyere temperatur i bunnvannet i Nordre Puttjern på ettervinteren enn i Søndre Puttjern. Antagelig skyldes det større grunnvannstilsg til bunnvannet i Nordre Puttjern.

I slutten av mai var temperaturen i overflaten steget til nær 13 °C og temperaturen sank da jevnt til et minimum på 4.5 °C i 4 m dyp. Dette var den samme utviklingen som en registrerte i 1999. Under dette dypet steg så temperaturen jevnt til 5.7 °C i 9 m dyp på samme måte som i 1999. Rask soloppvarming av de øverste vannlag, og høyt innhold av løste salter i de dypere vannlag (se under kjemiske forhold), førte til at det ikke skjedde en sirkulasjon av vannmassene og at vannlagene under ca. 4 m dyp ble liggende i ro. Samtidig kommer høyst sannsynlig det meste av grunnvannstilsg til dette tjernet ut i 4-6 m dyp gjennom sesongen. Dette er gjerne kaldere vann som påvirker temperaturforholdene i denne sonen.

Temperaturen i sommerperioden juni, juli og august viser de samme temperaturer under 5 m dyp med minimum der og jevn økning mot bunnen som i mai. Temperaturen i overflaten lå på henholdsvis 16.3



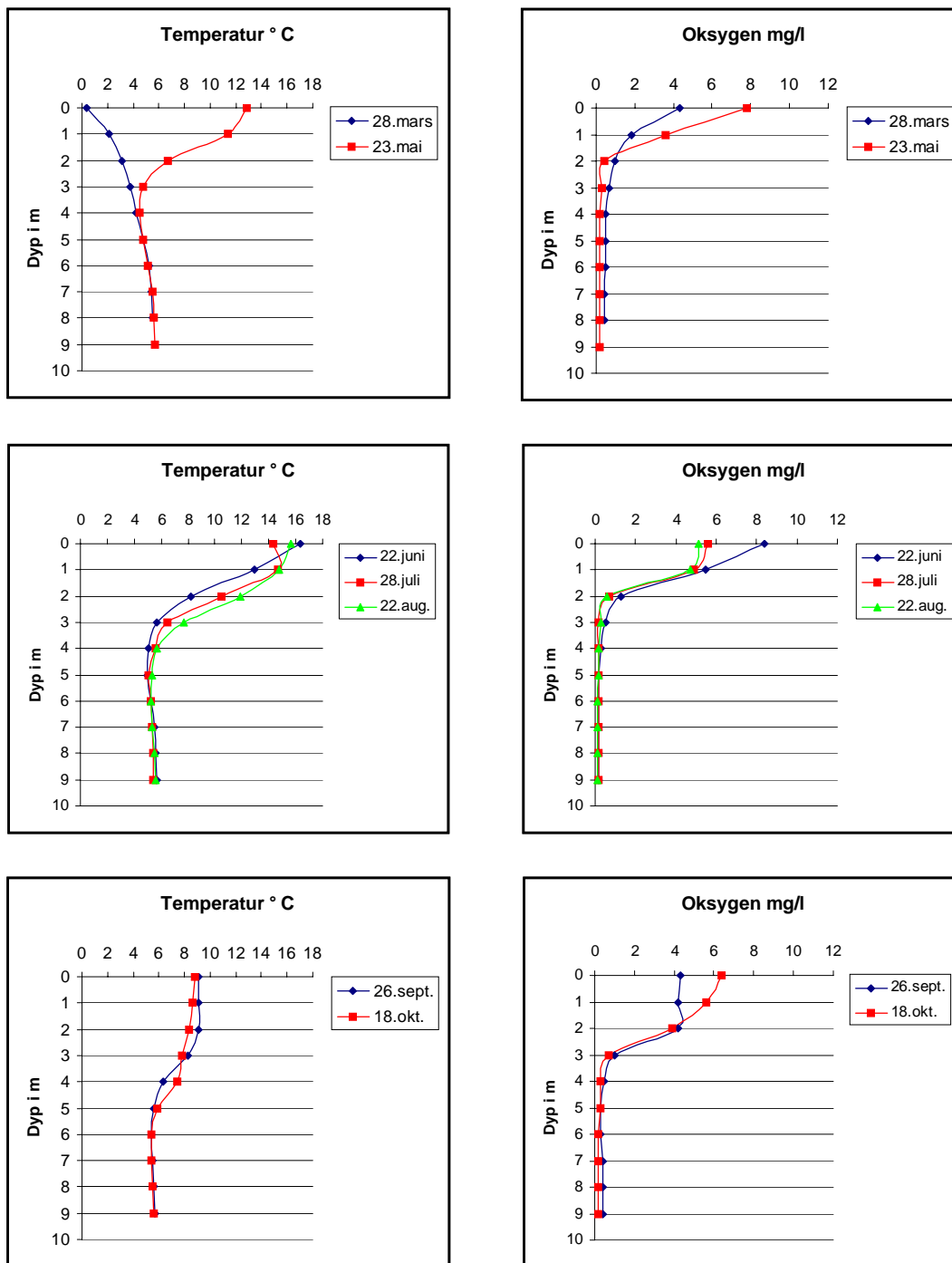


Fig. 7 Vertikale variasjoner i temperatur og oksygen i Nordre Puttjern 2000.

°C i juni , 14.3 i juli °C og 15.5 °C i august. En termoklin bygget seg opp utover sommeren mellom 1 og 3 m dyp.

Målingene for september og oktober viste at en avkjøling av de øverste vannlag var igang og temperaturen sank i Nordre Puttjern med 5-6 °C i løpet av en måned fra 15.6 °C i slutten av august til 9.1 °C i slutten av september. Den samme overflatetemperaturen ble registrert i oktober, og en jevn temperatur da ned til 4 m dyp viser blanding av vannmassene i disse dypene. Under 6 m dyp økte også temperaturen mot bunnen i september og oktober, noe som viser at det ikke blir en hel gjennomblanding av hele vannsøylen på noe tidspunkt i løpet av sesongen. Dette skyldes det tyngre, saltrike bunnvannet i tjernet.

Av figur 7 ser en at oksygeninnholdet avtok raskt i vannmassene under isen ved målingene i mars 2000. Under isen ble det registrert 4.3 mg/l O<sub>2</sub> , omtrent som i 1999, men oksygeninnholdet sank raskt til 1 mg/l O<sub>2</sub> i 2 m og mindre enn 1 mg/l O<sub>2</sub> under 3 m dyp. Det var lukt av H<sub>2</sub>S fra ca. 2 m dyp. I mai 2000 viser figuren at oksygeninnholdet i overflatelaget lå på 8 mg/l O<sub>2</sub> men at innholdet sank raskt til mindre enn 1 mg O<sub>2</sub> fra 2 m dyp og dypere. Lukt av H<sub>2</sub>S ble i mai registrert under ca. 2-3 m dyp.

Målingene i sommerperioden juni, juli og august viste samme mønster som mai med oksygenfrie forhold og lukt av hydrogensulfid (H<sub>2</sub>S) under ca. 2-3 m dyp. Oksygeninnholdet i overflaten var på 8.4 mg/l O<sub>2</sub> i juni, mens det i juli og august var redusert i forhold til målingene i mai og juni. Da var oksygeninnholdet i overflaten mellom 5 og 6 mg/l O<sub>2</sub>. Under ca. 2 m var oksygeninnholdet mindre enn 1 mg/l O<sub>2</sub> hele sommeren og lukt av hydrogensulfid ble registrert fra ca. 2-3 m hele perioden.

I september registrerte en en ytterligere reduksjon av oksygeninnholdet i de øverste vannlag til 4 mg/l O<sub>2</sub> , men oksygenfritt først under ca. 3 m og svak lukt av hydrogensulfid fra samme dyp. Figur 7 viser at i oktober steg oksygeninnholdet i overflatelagene igjen, antagelig som følge av kraftig nedbør, større tilførsler av vann til tjernet med overløp ut til Puttjernsbekken og økt omrøring av vannmassene i de øverste vannlag. Under 2 m var oksygenkurven imidlertid praktisk talt identisk for september og oktober, som figuren viser, med oksygenfritt vann og lukt av hydrogensulfid under ca. 3 m dyp. Det var i det hele tatt små forandringer i oksygenforholdene i Nordre Puttjern hvis en sammenligner resultatene for 2000 med 1999. Oksygenfritt vann og lukt av hydrogensulfid under ca. 2-3 m begge årene. Det har med andre ord ikke skjedd noen merkbare endringer i dypvannsforholdene for vannmassene i Nordre Puttjern fra 1999 til 2000.

Disse målingene viser at Nordre Puttjern er en meromiktisk innsjø, det vil si en innsjø med permanent stagnert bunnvann fra 3 m og ned til bunnen.

### **Kjemiske forhold** (figur 8 og 9, tabell 4 i vedlegg)

Også Nordre Puttjern har et beskjedent nedbørfelt med hovedtilførsler fra Søndre Puttjern og fra nærområdene på øst og vestsiden. Områdene mellom Søndre og Nordre Puttjern er myrområder. Nordre Puttjern er også kalket flere ganger gjennom 90-årene, men ikke i 1999. Som før nevnt for Søndre Puttjern ble også Nordre Puttjern kalket 7. august i 2000. Fra vår/forsommeren 1999 ble det satt igang med å pumpe lekkasjevannet fra Romeriksporten tilbake til grunnen via et infiltrasjonsanlegg under Puttjernene, og da særlig Nordre Puttjern. Dette har, som nevnt tidligere, ført til at vannstanden i Nordre Puttjern blir jevnere og en opprettholder et normalt vannspeil. I 2000 rant det stort sett bare vann ut av tjernet til Puttjernsbekken i oktober og i perioder i mai og juni. Selv i tørrere perioder har vannstanden vært høy og bassenget tilnærmet fullt, selv om det ikke rant vann ut av tjernet gjennom utløpet.

Figur 8 viser variasjonene i analyseresultatene for en del kjemiske parametre i blandprøvene gjennom sesongen 2000, sammenlignet med tilsvarende verdier for 1998 og 1999.

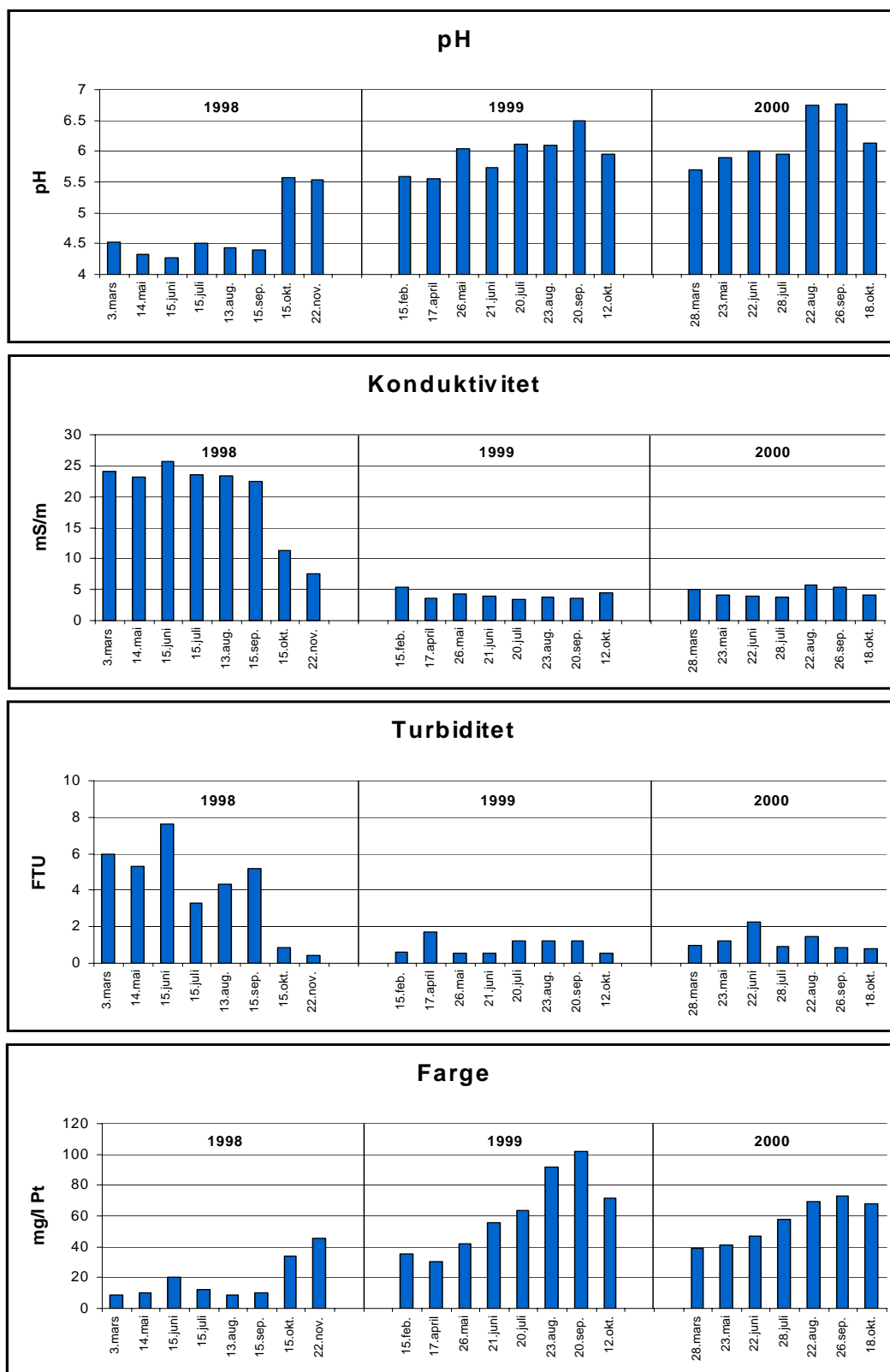


Fig. 8 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

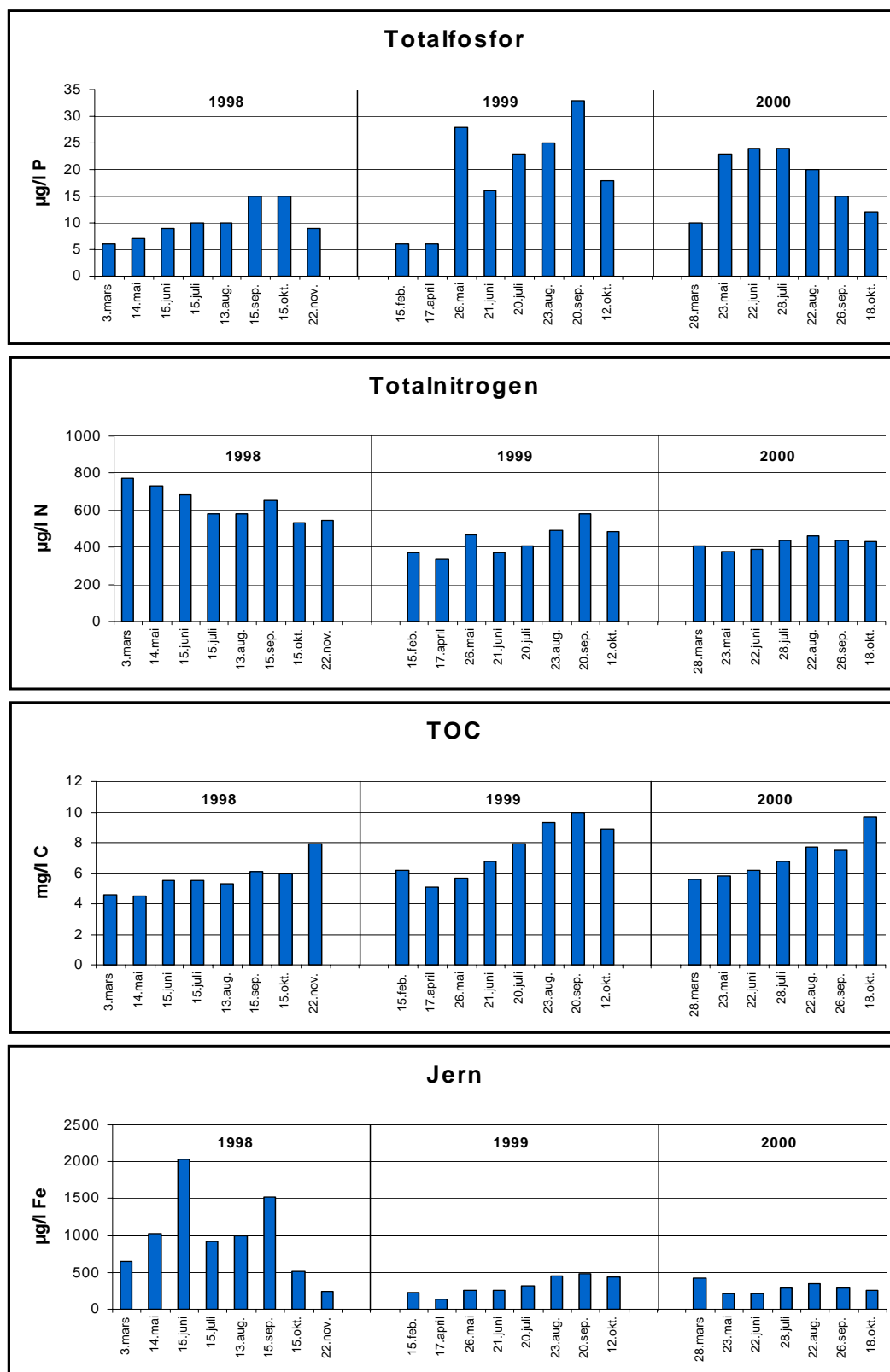


Fig. 9 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og jern i Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

pH hadde i 1999 steget kraftig sammenlignet med 1998, på grunn av de bedre vannstandsforholdene med fullt basseng hele sesongen og høyere grunnvannstand i nedbørfeltet, som hindrer pyritt- ( $\text{FeS}_2$ ) oksydasjon og tilførsler av sulfat. Forholdene i 2000 med hensyn til pH viser omtrent verdier som i 1999. pH lå i 1999 mellom 5.56 og 6.49, mens den i 2000 varierte mellom 5.69 og 6.74. Etter kalkingen 7. august steg pH sterkt og verdiene for august og september var markert høyere, som i Søndre Puttjern. I oktober sank pH noe som en følge av mye nedbør i området.

Også konduktiviteten viste en kraftig endring i verdiene og mindre ionerikt vann i 1999 sammenlignet med 1998, for blandprøvene. Som figur 8 viser lå verdiene for konduktivitet det meste av sesongen 2000 omtrent på det samme nivå som gjennom 1999, men også her med en økning i august og september etter kalkingen. Variasjonene gjennom 2000 var fra 3.71 til 5.70 med et snitt på 4.53 mS/m. I 1999 varierte det mellom 3.46 og 5.43 med et snitt på 4.08 mS/m. I 1998 varierte den mellom 8.9 og 25.7 med et snitt på 20.3 mS/m.

Som for konduktiviteten ble det også registrert en kraftig reduksjon av turbiditeten i 1999 sammenlignet med 1998, som et resultat av at vannstanden i tjernet da steg til det normale. I perioder i 1998 da vannstanden lå 2-3 m under det normale var særlig strandområdene eksponert for nedbøren, noe som førte til større utvasking av partikler til tjernet. I 2000 lå variasjonene i turbiditet stort sett innenfor samme intervallet som i 1999. Verdiene i 1999 lå mellom 0.52 og 1.70 med et snitt på 0.94 FTU. I 2000 varierte verdiene mellom 0.81 og 2.28 med et snitt på 1.20 FTU. De små variasjonene en registrerte skyldtes først og fremst variasjoner i nedbør og utvasking av partikler til tjernet, og sannsynligvis bare i liten grad planktonalger, selv om algemengden økte betydelig i 2000 sammenlignet med 1999 (se kapittel 5.1.2 ).

Verdiene for farge viste også store endringer fra 1998 til 1999, med unntak for slutten av sesongen 1998. Det meste av sesongen 1998 lå fargetallene mellom 8.45 og 20.5 mg/l Pt. Dette viser at det var liten tilrenning av humøst vann til Nordre Puttjern da, hovedsakelig fordi det meste av myrområdene var tørrlagte. De lavere fargetallene i Nordre Puttjern store deler av sesongen 1998 skyldes også avfarging av humus ved de ekstremt lave pH-verdier og fotooksydasjon i vannmassene pga. liten vanngjennomstrømning. I 1999, med normal vannstand hele sesongen, hadde verdiene for farge økt til mellom 30.7 og hele 102 med et snitt på 61.5 mg/l Pt, det vil si høye verdier som viste stor humuspåvirkning. Som figur 8 viser var fargetallet relativt høyt også gjennom store deler av sesongen 2000. I perioder ble det, som i 1999, tilført humusrikt vann til Nordre Puttjern i 2000, noe som ga redusert sikt i vannet. I 2000 varierte verdiene for fargetall mellom 39.2 (islatt tjern) og 72.9 med et snitt på 56.7 mg/l Pt, det vil si omtrent som i 1999 men noe jevnere gjennom sesongen.

På tross av at det ble registrert en kraftig økning i fargeverdiene i Nordre Puttjern i 1999 og 2000 sammenlignet med 1998 (figur 9), endret ikke innholdet av totalt organisk materiale (TOC) seg så mye, selv om det økte og var markert høyere begge årene. I 1998 varierte innholdet av TOC mellom 4.5 og 7.9 med et snitt for sesongen på 5.7 mg/l C, mens de tilsvarende verdiene for 1999 var 5.1 og 10.0 med et snitt på 7.5 mg/l C og 5.6 og 9.7 med et snitt på 7.0 mg/l C i 2000. Dette viser et betydelig innhold av organisk materiale i vannmassene i Nordre Puttjern gjennom hele undersøkelsesperioden 1998-2000 ( se SFTs klassifisering i Bratli og medarb. 1997).

Innholdet av jern ble også, som figuren viser, sterkt redusert i de øverste vannlag i sesongen 1999 sammenlignet med 1998. I 1998 var innholdet meget stort men varierte mye selv i blandprøvene, mellom 240 og 2030  $\mu\text{g/l Fe}$ , minst mot slutten av året med tilnærmet normal vannstand i tjernet. I 1999 lå alle verdiene under 500  $\mu\text{g/l Fe}$ , store deler av sesongen også under 350  $\mu\text{g/l Fe}$ . For 2000 viser verdiene en ytterligere nedgang med et maksimum på 420  $\mu\text{g/l Fe}$  og resten av året godt under 350  $\mu\text{g/l Fe}$ . Snittverdien for 1999 var på 319 mens den i 2000 var på 285  $\mu\text{g/l Fe}$ .

Innholdet av fosfor økte betydelig i 1999 sammenlignet med 1998 i den isfrie perioden. Mens høyeste verdier i 1998 lå på 15  $\mu\text{g/l P}$  og gjennomsnittet på 10.7  $\mu\text{g/l P}$ , ble det i den isfrie perioden i 1999

registrert mellom 16 og 33  $\mu\text{g/l P}$  med et snitt på 23.8  $\mu\text{g/l P}$ . Årsaken kan være at en del fosfor ble bundet under de oksyderende forholdene i myrområdene rundt tjernet når vannstanden var lav i 1997-1998, og at disse løstes ut igjen og tilførtes vannmassene når vannstanden steg og det igjen ble reduserende forhold. I 2000 var også innholdet av fosfor høyt, mellom 12 og 24  $\mu\text{g/l P}$  med et snitt på 19.6  $\mu\text{g/l P}$ . I 1999 kunne en ikke se at økningen i fosfor, som ofte er begrensende vekststoff for planteplankton, førte til økt algebiomasse i Nordre Puttjern, men resultatene for planteplankton-analysene for 2000 viser en kraftig økning av algevolumet gjennom vekstsesongen (se under kapittel 5.1.2). Innholdet av nitrogen viste en betydelig reduksjon gjennom sesongen 1999 sammenlignet med 1998. I 2000 var innholdet av nitrogen jevnere gjennom sesongen men lå innenfor det samme variasjonsintervallet som i 1999. I 1998 varierte totalnitrogen mellom 535 og 775 med et snitt på 634  $\mu\text{g/l N}$ , i 1999 mellom 335 og 580 med et snitt på 438  $\mu\text{g/l N}$  og i 2000 mellom 380 og 460 med et snitt på 420  $\mu\text{g/l N}$ .

### **Vertikale variasjoner for en del parametre i Nordre Puttjern**

I 1998 ble det i tillegg til blandprøvene samlet inn prøver fra ulike dyp for å se på de vertikale variasjonene. Ekstraprøvene ble tatt i 2, 4 og 7 (6) m dyp. I 1999 ble det på samme måte tatt ut og analysert prøver fra de samme dyp med hensyn på de samme parametre, og dette ble fulgt opp i sesongen 2000. Bakgrunnen for å analysere prøver fra disse dypene i Nordre Puttjern var å følge med i eventuelle bedringer av vannkvaliteten også i dypvannet, slik analyseresultatene for blandprøvene fra de øvre vannlagene i 1998, 1999 og 2000 har vist. Analysene av prøvene omfattet pH, konduktivitet, jern og sulfat. På grunn av den induserte meromiksis i Nordre Puttjern fikk en to adskilte vannvolumer gjennom sesongen, ett over ca. 3 m med relativt normal blanding av vannmassene og ett under dette dyp med stagnerende vannmasser. Dette har ført til store forskjeller i verdiene for en del parametre. I figurene 10-12 er sammenstilt variasjonene i tre av de nevnte parametre i de tre dypene både for 1998, 1999 og 2000.

### **PH**

Som figur 10 viser var det selv i 2 m dyp en markert økning av pH fra 1998 til 1999. Disse prøvene er tatt i et dyp der det er omrøring av vannmassene. Økningen var ikke så markert som i de andre dypene, men tydelig nok. I 1998 varierte pH i 2 m dyp mellom 4.52 og 5.62 med et snitt på 5.05. Tilsvarende verdier for 2 m dyp i 1999 var 5.31 og 5.90 med snitt 5.61. I 2 m dyp for 2000 viser analyseresultatene omtrent samme verdier eller litt høyere frem til kalkingstidspunktet, sammenlignet med 1999, og etter kalkingen en markert økning på samme måte som resultatene fra blandprøvene viste (se tidligere). Verdiene lå mellom 5.53 og 6.70 med et snitt på 6.02.

I 4 m dyp registrerte en de største endringene fra 1998 til 1999. Med unntak av siste måling i november 1998 på 5.14, var pH-verdiene i 1998 svært lave, laveste verdi var den gang 3.35. Snitt av målingene i 4 m dyp i 1998 var så lav som 3.93. Tilsvarende verdier for 1999 i 4 m dyp var 5.21 og 6.31 med snitt 6.06. Dette viser en kraftig økning i pH på dette dypet. I 2000 var de tilsvarende verdiene for 4 m svært like resultatene for 1999, fra 5.65 til 6.56 med snitt på 6.06, og også i dette dyp en økning i prøvene fra august og september.

I dypvannet, 7 (6) m dyp, var det også en betydelig bedring å se. I 1998 var laveste registrerte verdi i dette dyp 3.30 og høyeste 4.31 (november) med snitt 3.58. Tilsvarende verdier for 7 m dyp i 1999 var 3.88 og 5.33 (februar) med snitt 4.63. Resultatene fra 2000 viser en ytterligere bedring i pH, også her spesielt utover høsten. Verdiene lå mellom 4.76 (mai) og 6.42 (oktober) med et snitt på 5.26. Det var en spesielt kraftig økning i pH etter kalkingen 7. august, sannsynligvis fordi mye av kalken sank ned til de dypere vannlag.

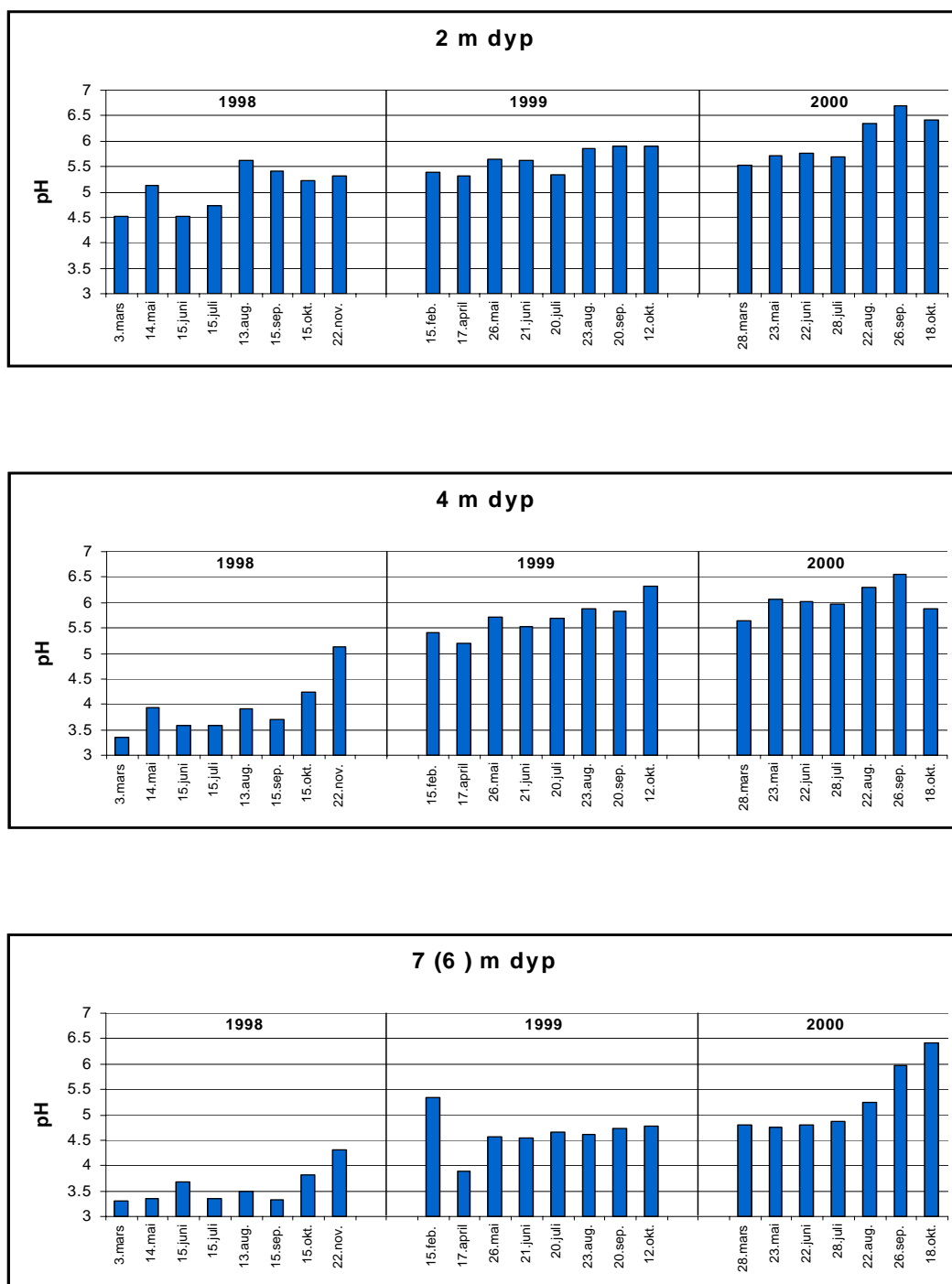


Fig. 10 Vertikale variasjoner i pH i Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

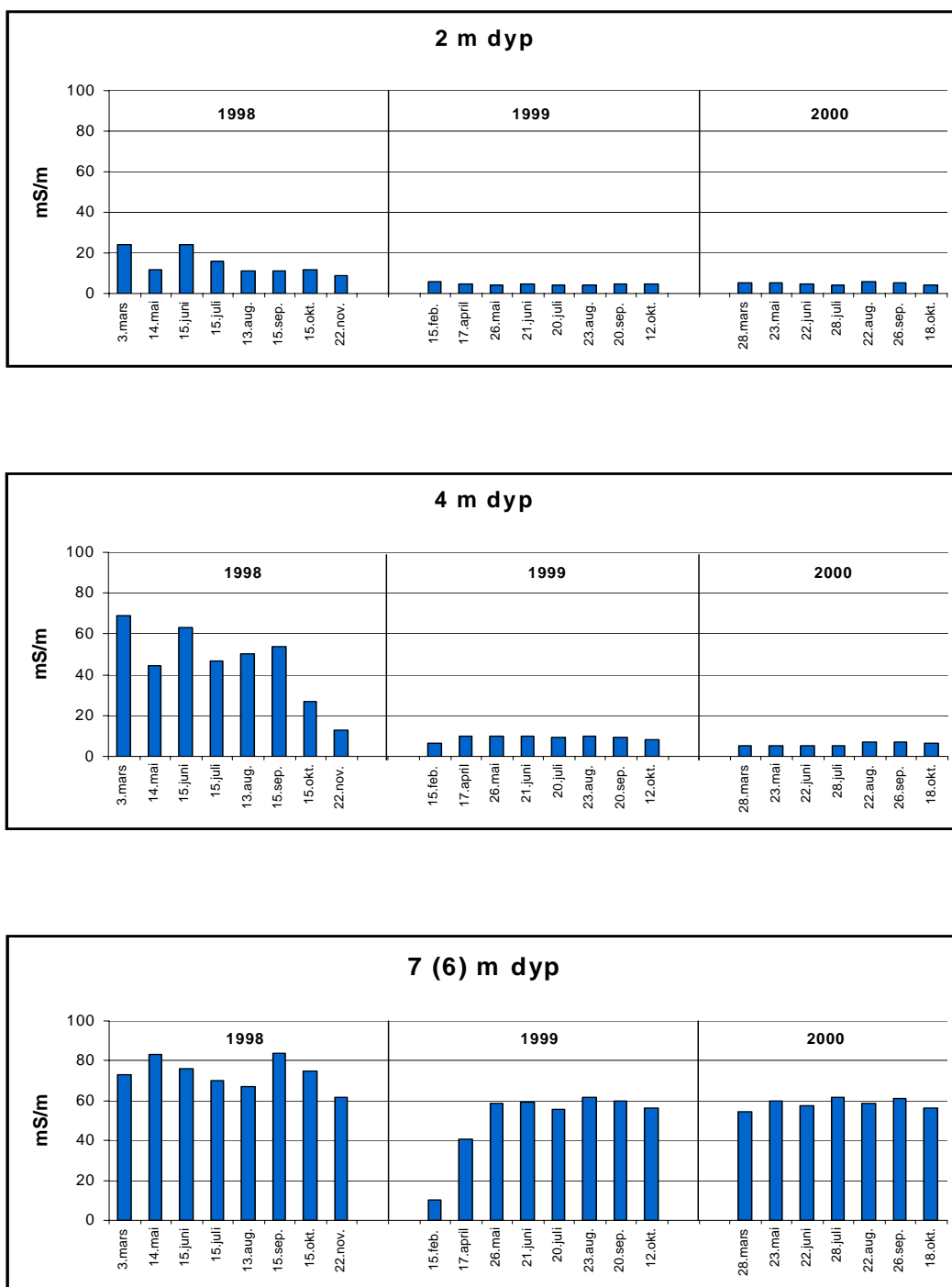


Fig. 11 Vertikale variasjoner i konduktivitet i Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000.



## Konduktivitet

Konduktiviteten, som er et mål på innholdet av løste salter i vannmassene samlet, viste kraftig endring i verdiene fra 1998 til 1999. Størst utslag ble da registrert i 4 m dyp som figur 11 viser. I 2 m dyp var ikke endingene så store, selv om de også her var markerte. I 1998 var laveste registrerte verdi for konduktiviteten i 2 m dyp 11.3 og høyeste 24.1 med et snitt på 14.8 mS/m. Tilsvarende for 1999 var 3.97 og 6.00 med snitt 4.60 mS/m, det vil si en klar senkning av konduktiviteten. Dette viser mindre innhold av løste salter. I 2000 har verdiene for konduktivitet holdt seg på det samme nivå som i 1999 for 2 m dyp. De har variert mellom 4.08 og 5.94 med et snitt på 4.88 mS/m.

I 4 m dyp var konduktiviteten sunket til et betydelig lavere nivå mot slutten av året 1998 etter mye nedbør og økt vannstand til tilnærmet "normalt" nivå. For 1998 varierte verdiene i dette dyp mellom 12.6 (november) og 68.8 (mars) med et snitt for sesongen på 45.9 mS/m. De tilsvarende verdiene for 1999 var 6.41 og 10.2 med snitt på 9.10 mS/m, som viser en meget kraftig reduksjon av ioneinnholdet i dette dypet. I 2000 viser analyseresultatene at det har skjedd en videre reduksjon i ioneinnholdet i dette dypet. Da varierte konduktiviteten mellom 5.37 og 6.81 med et snitt på 6.02 mS/m.

Også for de dypeste delene av tjernet var det en markert reduksjon i innholdet av løste salter i 1999 sammenlignet med året før. I 1998 varierte konduktiviteten mellom 61.4 og 83.7 med et snitt for sesongen på 73.7 mS/m. I februar 1999 ble det målt, relativt sett, svært lav verdi for konduktivitet med 10.2 mS/m. Resten av sesongen varierte verdiene mellom 41.0 og 61.5 mS/m. Snittet for hele sesongen 1999 var 50.3 mS/m. Analysene for 2000 viser at konduktiviteten i dypvannet gjennomgående var svært like de resultatene en hadde for 1999, men jevnere gjennom sesongen. Variasjonene lå mellom 54.5 og 61.9 med et snitt på 58.5 mS/m.

## Sulfat (SO<sub>4</sub>)

En av årsakene til det ekstremt sure vannet i 1998, spesielt i hypolimnion i Nordre Puttjern, var økt innhold av hydrogen- og sulfationer ved oksydasjon av sulfider til sulfat. Grunnen var at grunnvannsspeilet sank kraftig i 1998 slik at store deler av vannet i området, særlig i myrområdene rundt tjernet som tidligere hadde anoksiske forhold, ble eksponert mot luft og en oksydasjon fant sted. Som nevnt tidligere var vannstanden i tjernet og myrområdene rundt tilnærmet normal gjennom hele sesongen 1999. I figur 12 er fremstilt variasjonene i sulfat i de tre prøvetakingsdypene for årene 1998, 1999 og 2000. Figuren viser en klar endring også av innholdet av sulfat i de tre prøvedypene fra 1998 til 1999. Særlig i 4 m dyp var endringene store.

På 2 m dyp ble det registrert store variasjoner i 1998, mellom 2.8 og 99.0, med et snitt på 42.8 mg/l SO<sub>4</sub>. I 1999 var variasjonene mindre med verdier mellom 6.1 og 14.8 og et snitt på 9.7 mg/l SO<sub>4</sub>. I 2000 var nivået for sulfatinnholdet i 2 m dyp omtrent som i 1999 med verdier mellom 6.5 og 11.8 og et snitt på 8.7 mg/l SO<sub>4</sub>.

I 4 m dyp var det i en senkning av verdien mot slutten av 1998 når vannstanden steg til nesten det normale, men resten av året var det høye verdier. Laveste målte verdi i 1998 var 44.5 (november) og høyeste 298 (mars) med et snitt på 207 mg/l SO<sub>4</sub>. Tilsvarende verdier for 1999 viser en radikal endring i dette dypet med variasjoner mellom 17.2 og 32.0 og et snitt på 25.3 mg/l SO<sub>4</sub>. I 2000 var innholdet av sulfat ytterligere redusert i dette dypet til mellom 9.7 og 13.2 og med et snitt på 11.0 mg/l SO<sub>4</sub>.

I de dypeste områdene av tjernet (i 1998 varierte dette mellom 6 og 7 m) var det i 1998 et sulfatinnhold som varierte mellom 286 og 380 med et gjennomsnitt på 334 mg/l SO<sub>4</sub> som er svært høye verdier. Med unntak av målingen fra februar da det bare ble registrert et sulfatinnhold på 32 mg/l SO<sub>4</sub>, lå sulfatinnholdet i 1999 mellom 176 og 300 med et snitt for hele sesongen på 237 mg/l SO<sub>4</sub>. Dette viste fremdeles svært høye verdier i dette dypet, selv om en viss reduksjon av sulfatinnholdet skjedde også i vannmassene i dypvannet. Analyseresultatene for 2000 viser ingen markerte endringer i

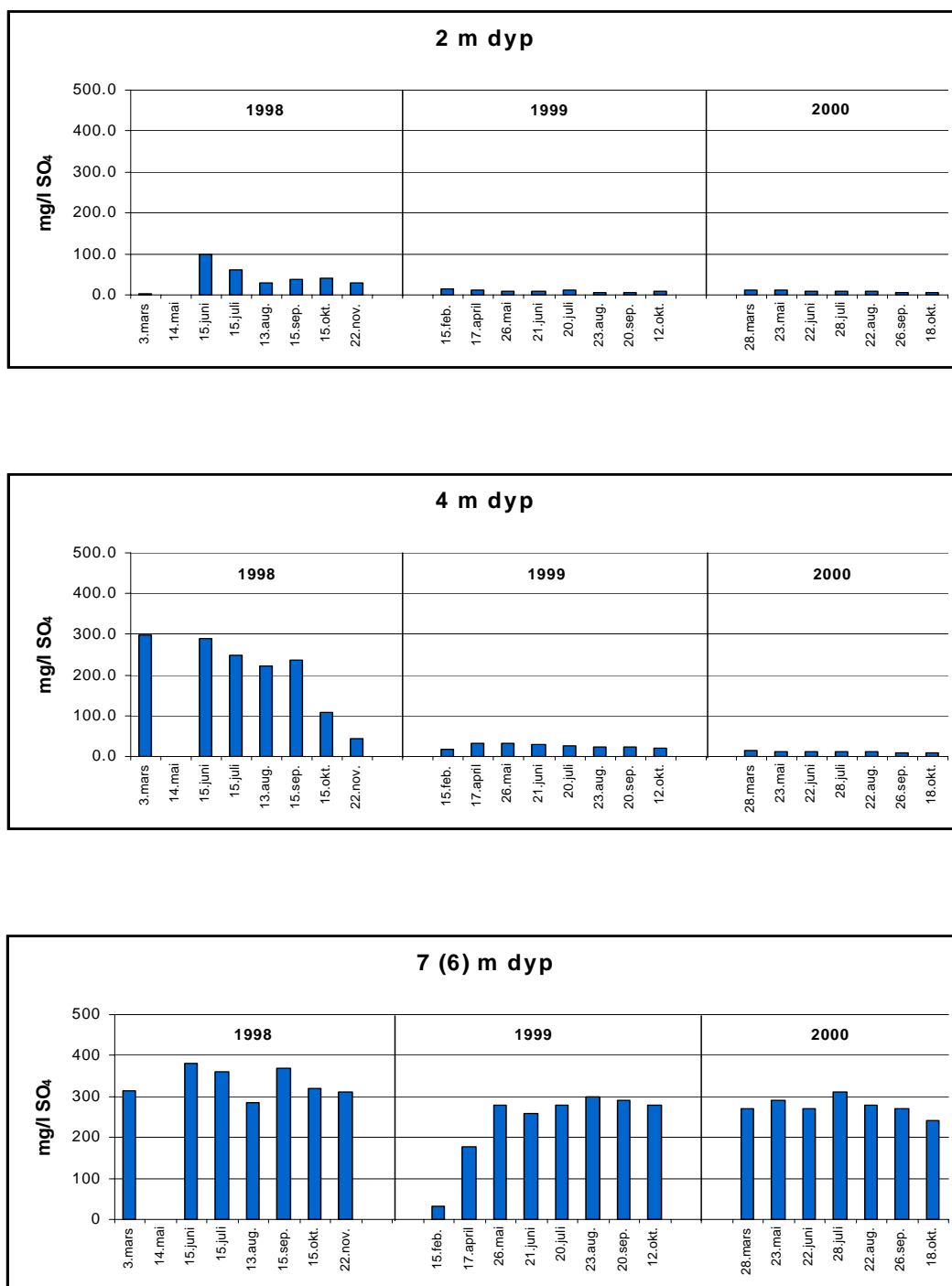


Fig. 12 Vertikale variasjoner i sulfat i Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

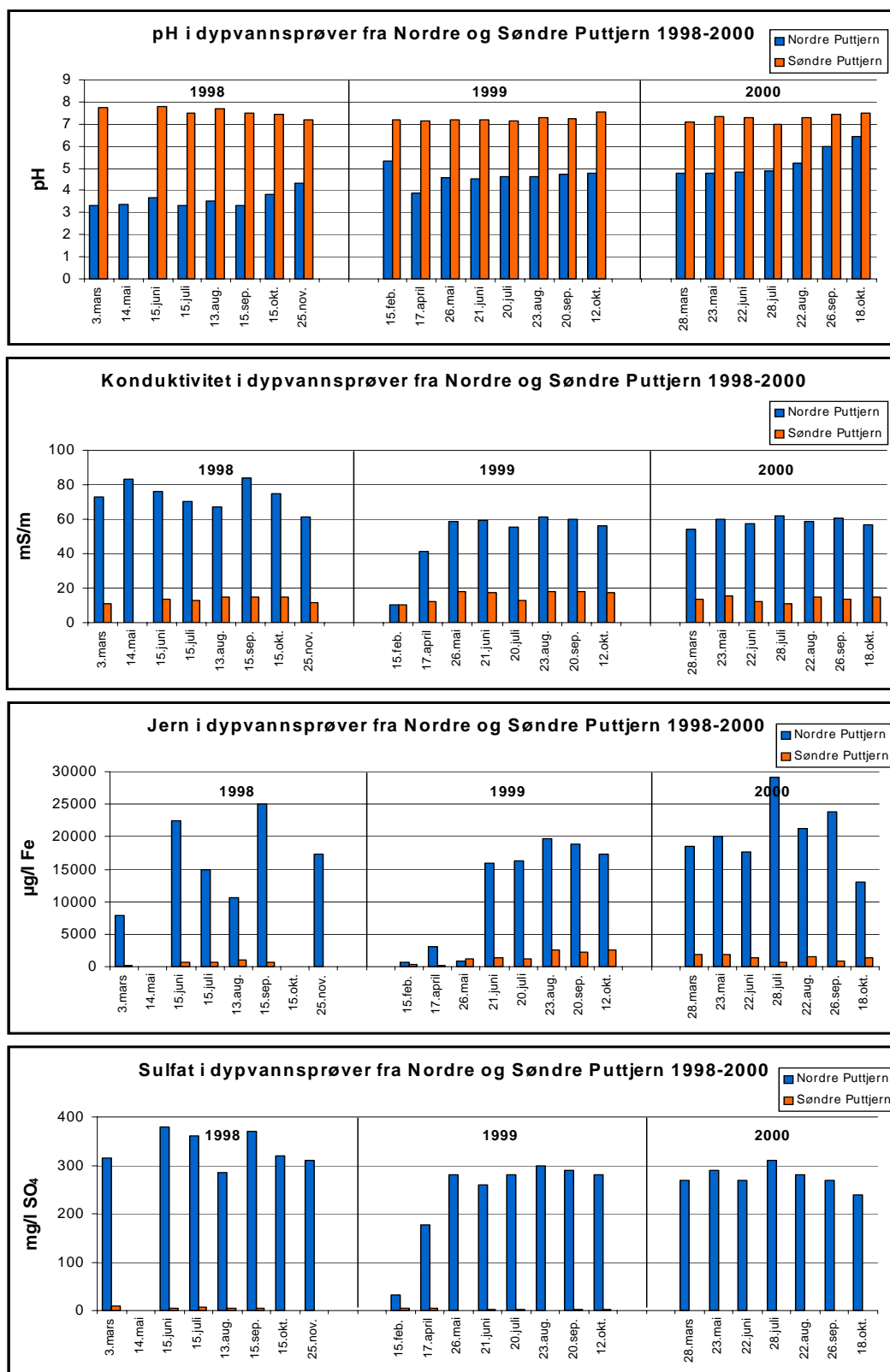


Fig. 13 Variasjoner i pH, konduktivitet, jern og sulfat i dypvannet i Nordre og Søndre Puttjern 1998, 1999 og 2000.

sulfatinnholdet i dypvannslagene i Nordre Puttjern sammenlignet med 1999. Verdiene varierte mellom 240 og 310, og hadde et snitt på 275 mg/l SO<sub>4</sub>.

### **Jern (Fe)**

Også for jerninnholdet viste resultatene markerte endringer fra 1998 til 1999, særlig i 4 m dyp. Bedringen ble synlig for denne parameteren alt mot slutten av sesongen 1998 (oktober) da verdiene i 4 m dyp sank fra et nivå tidligere på året på opp til 10000 µg/l Fe, med kraftig senket vannstand og tørrlegging av myrområdene, ned til 63 µg/l Fe med tilnærmet normal vannstand i tjernet og vasstrukken myr med reduserende forhold. Gjennom hele 1999 da vannstanden var normal og myrene gjennomtrukket av vann, varierte jerninnholdet i 4 m dyp mellom 300 og 1230 µg/l Fe. Verdiene for 2000 var jevnere gjennom sesongen enn i 1999 og varierte i 4 m dyp mellom 820 og 1700 µg/l Fe. Jerninnholdet i dypvannet er fremdeles svært høyt med registrerte verdier for 2000 på opp til 29200 µg/l Fe.

### **Sammenligning av variasjonene for enkelte parametre i dypvannet i Søndre- og Nordre Puttjern**

Gjennom undersøkelsene av Puttjernene både i 1998, 1999 og 2000 ble det samlet inn og analysert prøver fra dypvannssonen i Søndre Puttjern (8 m dyp) såvel som i Nordre Puttjern (6 og 7 m dyp i 1998, 7 m dyp i 1999 og 2000).

Det er sannsynlig at forholdene i begge disse tjernene har vært svært like før lekkasjene til Romeriksporten begynte i 1997. Begge tjernene er tilnærmet like med hensyn til nedbørfelt, overflateareal, vannvolum og dyp (Brettum og Løvik 1999). Overløpsvann fra Søndre Puttjern renner ned i Nordre Puttjern.

Da eventuelle skader på bassenget i Søndre Puttjern synes å ha vært ubetydelige i forbindelse med lekkasjene til Romeriksporten, og vi forutsetter at de to tjernene i utgangspunktet har vært relativt like før lekkasjene, kan en bruke resultatene fra dypvannet i Søndre Puttjern som en referanse for forholdene fra før lekkasjene. Dermed kan en sammenligne resultatene der med analyseresultatene i Nordre Puttjerns dypvann for å se hvor langt fra "førtilstanden" forholdene i Nordre Puttjern har vært og er etter lekkasjene.

I figur 13 er sammenstilt de analyseresultater en har fra de to tjernes dypvannsområder i perioden 1998-2000. Målte parametre var pH, konduktivitet, jern og sulfat.

Som figuren viser var det, og er fremdeles, store forskjeller på nivået for disse parametrene i de to tjernes dypvannsbassenger, selv om forholdene, som redegjort for tidligere, bedret seg markert i Nordre Puttjern fra 1998 til 1999. Resultatene for 2000 viser i stor grad lignende forhold i dypvannet som for 1999. Innholdet av sulfat var i Søndre Puttjern så lavt i dypvannet i 2000 sammenlignet med Nordre Puttjern, at en ikke får det frem på figuren (se vedlegg tabell 3). Den økningen en registrerte for pH i dypvannet fra august 2000 i Nordre Puttjern, og svakt også i Søndre Puttjern, må skyldes nedsynking av kalk til dypvannet i forbindelse med kalkingen.

### 5.1.2 Planteplankton og klorofyll

De analyserte prøvene for planteplankton og klorofyll er blandprøver fra den eufotiske sone i de undersøkte innsjøene. I 2000 ble det tatt blandprøver fra 0-6 m dyp i Søndre Puttjern og fra 0-2 m dyp i Nordre Puttjern.

De kvantitative planteplanktonprøvene ble analysert etter "Sedimenteringsmetoden" utarbeidet av Utermöhl (1958), med etterfølgende volumberegninger beskrevet av Rott (1981). En samlet metodebeskrivelse er gitt av Brettum (1984) og Olrik og medarb. (1998). Metoden omfatter analyser ved hjelp av et omvendt mikroskop og gir det kvantitative innholdet av hver enkelt art eller takson planteplankton som volum eller biomasse, den prosentvise andel av hver algegruppe som f. eks. blågrønnalger (cyanobakterier), kiselalger, grønnalger osv. og det samlede planteplanktoninnhold. Figurene som viser variasjonene i planteplanktonvolum og -sammensetning i Puttjernene er tegnet ut i samme målestokk for alle årene og begge tjernene, for å gjøre det enklere å sammenligne innsjøene innbyrdes.

Måling av klorofyllinnholdet i vannet er en enklere metode for å gi et mål på planteplanktonets samlede biomasse. Denne metoden gir ingen opplysninger om planteplanktonsamfunnets sammensetning av grupper og arter. Da klorofyllinnholdet i planteplanktonet varierer både med artsammensetningen, vekstfase og ytre forhold, gir det et relativt grovt mål på planteplanktonbiomassen til enhver tid. Med et sammensatt planteplanktonsamfunn vil imidlertid klorofyllmengden variere i store trekk på samme måte som totalvolum av planteplankton, beregnet ut fra de kvantitative mikroskopanalysene. Analysemetodikken for klorofyllanalyser følger Norsk Standard (NS 4767).

#### Søndre Puttjern

Analyseresultatene for planteplanktonanalysene er gitt i figur 14 og i tabell 5 i vedlegget. I figur 14 er sammenstilt variasjonene i totalvolum og sammensetning av planteplankton både for 1998, 1999 og 2000 for lettere å kunne sammenligne resultatene.

Figuren viser at planteplanktonbiomassen, eller totalvolum planteplankton, var noe mindre i Søndre Puttjern i 2000 enn i 1998 og 1999. Den høyeste verdien for totalvolum i 1998 ble registrert i juli med  $735 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ . Maksimum i 1999 ble registrert i august med  $664 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ . I 2000 ble maksimum registrert i juli med  $501 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ . Dette er ikke spesielt høye verdier og normalt for mange skogstjern av denne typen, tjern med vannmasser i overgangen mellom oligotrofe og oligomesotrofe forhold. Det vil si forholdsvis næringsfattige vannmasser. Gjennomsnittsverdi for analysetidspunktene var i 1998 på 427, i 1999 på 399 og i 2000 på  $323 \text{ mm}^3/\text{m}^3$ .

Av figuren og tabellen ser en at det var et ennå mer variert planteplankton i Søndre Puttjern i 2000 enn gjennom sesongene 1998 og 1999. I 1998 ble det registrert 63 arter eller taksa. Flest arter eller taksa ble registrert innen gruppen Chrysophyceae (gullalger), hele 25 det året. I prøvene fra 1999 ble 61 arter eller taksa registrert, også da flest i gruppen Chrysophyceae med 26. I 1999 var det til tider noe mer dominans av enkelte grupper enn i 1998. Særlig var det tilfelle for gruppen Dinophyceae (fureflagellater) på ettersommeren. I 2000 ble det registrert 70 arter eller taksa av planteplankton i Søndre Puttjern. Som i 1999 var det et maksimum for gruppen Dinophyceae på ettersommeren. For gruppen Chrysophyceae ble det i 2000 registrert 30 arter eller taksa.

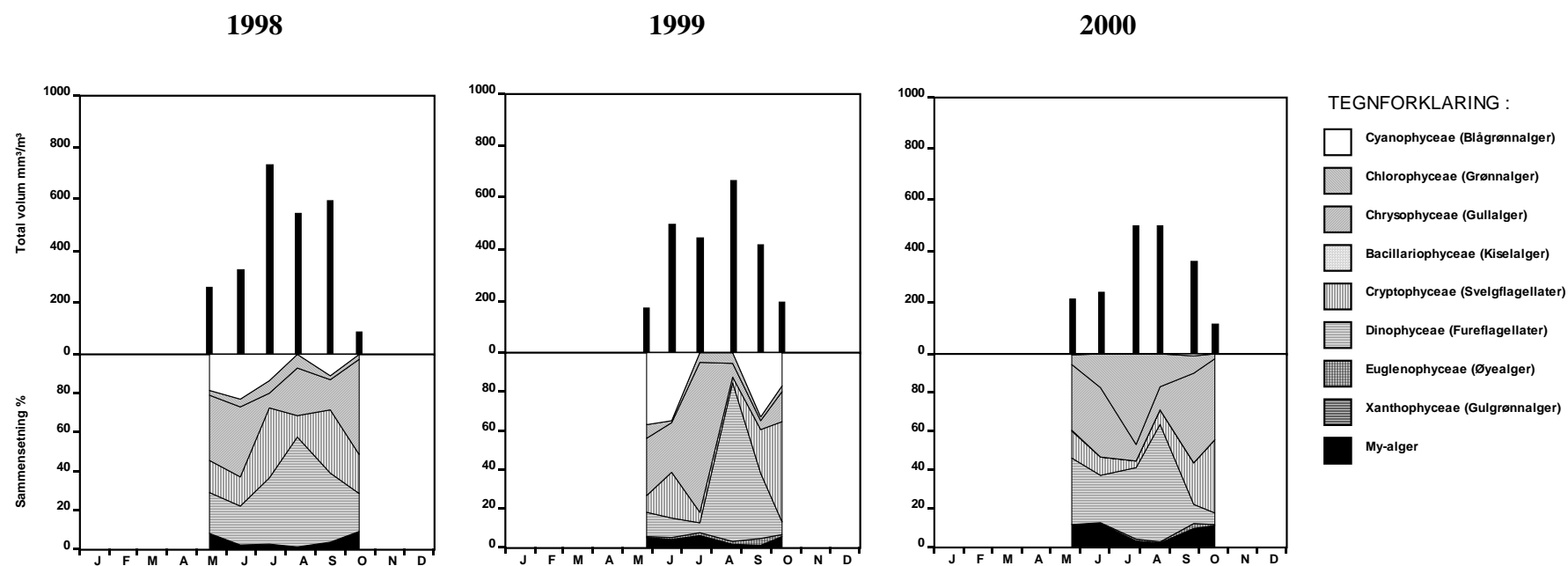


Fig. 14 Variasjoner i totalvolum og sammensetning av planteplankton i Søndre Puttjern 1998, 1999 og 2000.  
(Verdiene for totalvolum gitt i  $\text{mm}^3/\text{m}^3 = \text{mg}/\text{m}^3$  våtvekt)

Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) var, som nevnt, den mest fremtredende gruppen i 1998, sesongen sett under ett med hensyn til prosentvis andel av det samlede planteplanktonvolum. Særlig i august det året var gruppen dominerende i planktonet med hele 56 % av det samlede algevolum. Denne gruppen var også dominerende i 1999 i august, da den utgjorde mer enn 80 % totalvolumet. Også i 2000 var det en topp for denne gruppen i august. Den utgjorde da 61 % av det totale planteplanktonvolum.

Det var i første rekke en stor form, *Peridinium raciborskii* (*P. palustre*), som dominerte innen gruppen alle tre årene, en art som ikke er uvanlig i små, relativt humøse, myrpåvirkete tjern. *Peridinium umbonatum* (*P. inconspicuum*) ble registrert, men i små mengder alle tre årene. Denne arten har vanligvis størst forekomst i sure vannlokaliteter. Vannmassene i Søndre Puttjern har vært mindre sure enn normalt på grunn av tidligere kalking. Som nevnt tidligere viste imidlertid pH en svakt synkende tendens frem til august 2000, før tjernet igjen ble kalket.

Gruppen Chrysophyceae (gullalger) hadde som nevnt det største arts-/taksa-antallet alle årene, men den prosentvise andel av det samlede planteplanktonvolum var mindre for gruppen enn hva som er vanlig i små, forholdsvis humøse tjern. Gruppen er vanligvis den mest fremtredende, også med hensyn til volumandel, i slike innsjøer, men kalkingen av tjernet tidligere år har gjort forholdene mindre typiske. I 1998 utgjorde denne gruppen en større andel gjennom det meste av sesongen mens den i 1999 var mest dominerende på forsommeren. I 2000 ble gruppen igjen mer fremtredende, sesongen sett under ett.

Ulike chrysomonader utgjorde det meste av volumet innen Chrysophyceae. I 1998 var det også en del innen slekten *Dinobryon* som *D. bavaricum*, *D. crenulatum*, *D. divergens* og *D. sociale v. americanum* som fra tid til annen ble registrert med større individantall, mens disse artene bare forekom sporadisk i prøvene fra 1999 og i ennå større grad i 2000. Det samme var tilfelle med *Chrysolykos skujai*, en vanlig art i slike vannforekomster, men mest i surere vann (Brettum 1989).

Gruppen Cryptophyceae (svelgflagellater) utgjorde en jevn andel av det samlede planteplanktonvolum i Søndre Puttjern gjennom hele vekstsesongen i 1998. Det var i første rekke ulike arter innen slekten *Cryptomonas* som var vanlig forekommende da. Arter innen denne slekten var også mest dominerende innen gruppen i 1999. *Rhodomonas lacustris* og *Katablepharis ovalis*, som er vanlige i de fleste norske vannforekomster men forsvinner i de sure vannforekomstene med pH < 5-5.5, ble registrert her i mindre mengder. Disse ble også registrert i 1999 i prøvene, men da med en større andel av *Katablepharis ovalis*. *Rhodomonas lacustris* ble i 1999 bare registrert i prøven fra slutten av mai. I 2000 ble kun *Katablepharis ovalis* registrert i prøvene og i mindre mengder enn tidligere. Tendensen til at pH synker i Søndre Puttjern som en følge av at det ikke kalkes, ser ut til å virke inn på forekomsten av disse indikatorartene.

Chlorophyceae (grønnalger) var av helt underordnet betydning kvantitativt i Søndre Puttjern i 1998 og 1999, på tross av at en rekke arter innen gruppen ble registrert i planktonet; 14 i 1998 og 11 i 1999. I 2000 ble 16 arter eller taksa funnet i prøvene og gruppen utgjorde en viktig del av det samlede planteplankton i juli med nær 50 % av totalvolumet. Det skyldtes i første rekke et stort innslag av coccoide grønnalger i planteplanktonsamfunnet.

På forsommeren, og til en viss grad også om høsten, var det et betydelig innslag og en prosentvis større andel av *Pseudanabaena constricta* i 1998 og 1999, en art innen Cyanophyceae (blågrønnalger, cyanobakterier). Gjennom sesongen 2000 ble denne arten bare registrert med noe få individer.

I figur 15 er vist variasjonene i klorofyll gjennom de undersøkte årene. Sammenligner en resultatene for klorofyll i 1998 og 1999 viser de stor likhet i mengde. Det var da god overenstemmelse mellom variasjonene i klorofyll innen en sesong og variasjonene i totalvolum planteplankton, slik det ofte er

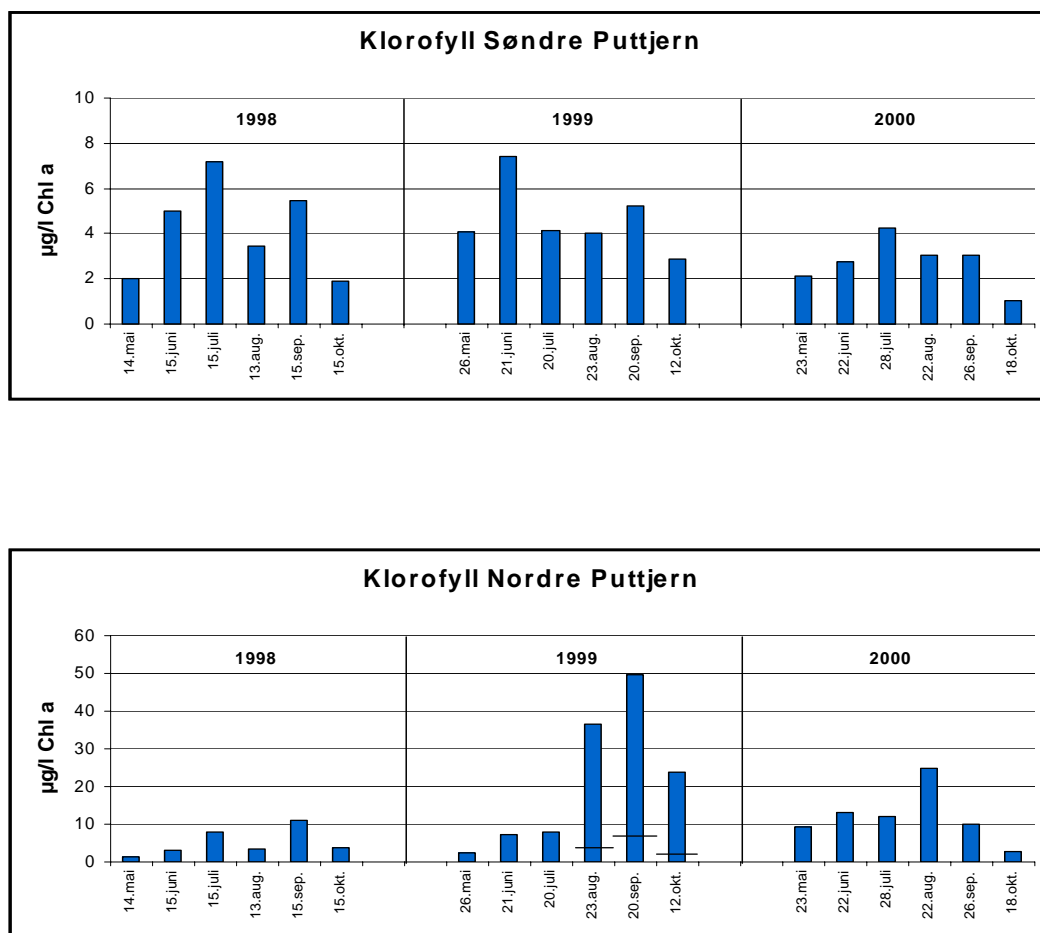


Fig. 15 Variasjoner i klorofyll 1998-2000 i Søndre- og Nordre Puttjern. De høye verdiene de tre siste prøvetakingstidspunktene i N.Puttjern i 1999, skyldes store bestander av fotosyntetiserende bakterier i prøvene. Horisontalstreker antyder omtrent hvor mye av klorofyllet som er planteplanktonklorofyll.



der planteplanktonsamfunnet er sammensatt. Maksimum både i 1998 og 1999 lå mellom 7-8  $\mu\text{g/l}$  Chl a. I 2000 viser figuren at klorofyllinnholdet i prøvene fra Søndre Puttjern var markert mindre enn de to foregående år, på samme måte som totalvolum planteplankton var mindre. Største registrerte klorofyllmengde i 2000 var 4.25  $\mu\text{g/l}$  Chl a, det vil si en klar reduksjon i forhold til tidligere.

Resultatene for analyse av planteplanktonvolum og -sammensetning sammen med klorofyll i undersøkelsesperioden 1998-2000, viser at det er en del planteplankton i Søndre Puttjerns vannmasser, og at planteplanktonsamfunnet er sammensatt og variert. Totalvolum og gruppesammensetning er i store trekk det en forventer å finne i skogstjern av denne typen, selv om tidligere kalking og relativt høy pH tidligere, og igjen i august 2000, i en viss grad har påvirket algesamfunnet. Selv om antall arter/taksa var høyere i 2000 enn i 1998 og 1999 og samfunnet mer variert, viser resultatene at totalvolumet eller algebiomassen er synkende. Resultatene for Søndre Puttjern viser et relativt normalt sammensatt planteplanktonsamfunn for oligotroft eller næringsfattig tjern (Brettum 1989). Den forholdsvis store artsdiversiteten støtter denne antagelsen (Brettum og medarb. 1997).

## Nordre Puttjern

Analyseresultatene for planteplanktonanalysene er gitt i figur 16 og i tabell 6 i vedlegget. I figur 16 er sammenstilt variasjonene i totalvolum og sammensetning av planteplankton både for 1998, 1999 og 2000.

Figuren viser at planteplanktonbiomassen eller totalvolum planteplankton også her lå på omtrent samme nivå i 1998 og 1999. Den høyeste verdien for totalvolum i 1998 ble registrert i september med 990  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ . Maksimum i 1999 var også i september, med 873  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ . Verdiene er ikke spesielt høye, men tydet da på oligomesotrofe vannmasser i dette tjernet. Det vil si vannmasser som var i overgangen mellom å være næringsfattige og middels næringsrike. Gjennomsnittsverdiene for analysetidspunktene var i 1998 på 490  $\text{mm}^3/\text{m}^3$  og i 1999 på 462  $\text{mm}^3/\text{m}^3$ , noe som disse to årene viste noe mer planteplankton i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern. De kjemiske analyseresultatene for Nordre Puttjern viste høye verdier for totalfosfor begge årene, som burde tilsi større algevolum i Nordre Puttjern enn det en registrerte også i 1999. Figuren viser at det i 2000 skjedde en kraftig økning i planteplanktonbiomassen sammenlignet med de to foregående år, på tross av at fosforinnholdet var omtrent på samme nivå som i 1999. Det må derfor være andre faktorer enn tilgangen på næringssalter alene som har vært bestemmende for planteplanktonbiomassen i 2000 i Nordre Puttjern. En mulig årsak kan være at vannmassene etterhvert er blitt mindre sure, slik at flere forsuringfølsomme arter har kunnet etablere seg og danne større bestander, men at det tar noe tid for artene å etablere seg og reagere på de endrete forholdene. Registrert maksimum i 2000 var på 2699  $\text{mm}^3/\text{m}^3$  og gjennomsnittet for sesongen 1581  $\text{mm}^3/\text{m}^3$  som, ifølge Brettum (1989), viser mesotrofe vannmasser.

Planteplanktonet i Nordre Puttjern var betydelig mindre variert gjennom sesongen både i 1998 og 1999 enn hva som ble registrert i Søndre Puttjern. Det er naturlig å sammenligne disse to tjernene da de i utgangspunktet sannsynligvis har vært svært like, også med hensyn til kalkingshistorie. Bare 36 arter eller taksa ble registrert totalt i prøvene fra 1998 i Nordre Puttjern. I prøvene fra 1999 ble 51 arter eller taksa registrert. Dette er en kraftig bedring. Det økte artsmangfold henger sannsynligvis sammen med den bedre vannkvaliteten som en registrerte i epilimnion i 1999 sammenlignet med forholdene i 1998. I første rekke har økt pH bidratt. Mange arter har vist seg å forsvinne fra planteplanktonsamfunnet når pH blir lavere enn ca. 5-5.5. I 2000 økte, som nevnt, totalvolum planteplankton kraftig, mens artsinventaret var omtrent det samme som i 1999. 49 arter/taksa ble registrert i sesongen 2000.

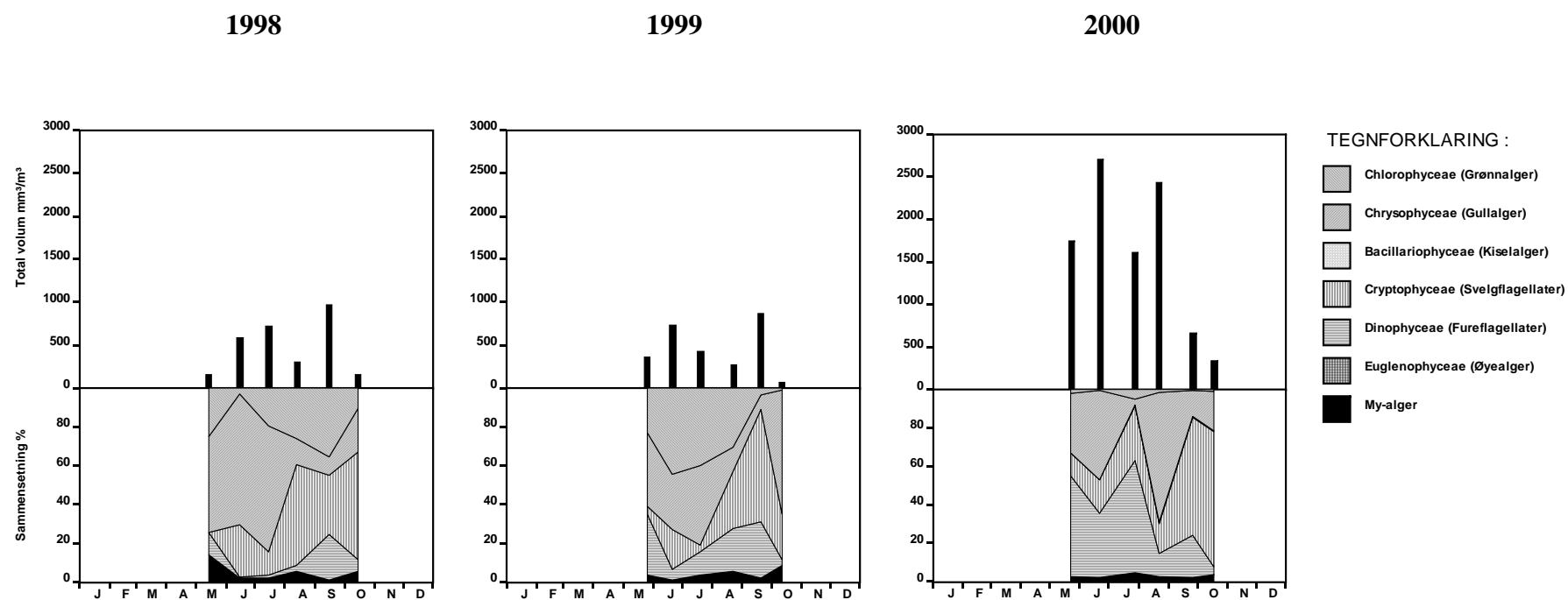


Fig. 16 Variasjoner i totalvolum og sammensetning av planteplankton i Nordre Puttjern 1998, 1999 og 2000.  
(Verdiene for totalvolum gitt i  $\text{mm}^3/\text{m}^3 = \text{mg}/\text{m}^3$  våtvekt)

Flest arter fant en innen gruppen Chrysophyceae (gullalger) i 1998, da denne gruppen var den helt dominerende tidlig i vekstsesongen. I juni og juli utgjorde gruppen ca. 65-67 % av det samlede planteplanktonvolum. Det var ulike chrysomonader som var mest fremtredende i 1998, men i Nordre Puttjern var det i 1998 mye av *Chrysidiastrum catenatum* og *Dinobryon sociale v. americanum* i juni og stor forekomst av *Uroglena americana* i juli. I 1999 var gruppen Chrysophyceae mindre fremtredende kvantitativt enn i 1998, selv om antall arter eller taksa var økt kraftig. I 1999 ble det registrert hele 25 arter fra denne gruppen i prøvene, det vil si halvparten av alle de registrerte artene. Gjennom sesongen 2000 var også gullalgene kvantitativt viktig med 23 registrerte arter/taksa. Til tider i 2000 var *Uroglena americana* helt dominerende art innen gruppen.

Både i 1998 og 1999 økte andelen av gruppen Cryptophyceae (svelgflagellater) utover siste halvdel av vekstsesongen, som figur 15 viser. Det var begge årene ulike arter av slekten *Cryptomonas* og en ubestemt cryptomonade som utgjorde det meste av volumet innen denne gruppen. Også i 2000 var maksimum mot slutten av vekstsesongen. I Nordre Puttjern ble de to artene *Rhodomonas lacustris* og *Katablepharis ovalis* overhodet ikke registrert, hverken i 1998, 1999 eller 2000, slik som i Søndre Puttjern i 1998 og 1999. Som nevnt tidligere forsvinner disse artene når pH < 5-5.5, og det må være en høyere pH over en lengre periode før de igjen etablerer seg i planteplanktonsamfunnet.

Gruppen Chlorophyceae (grønnalger) utgjorde en større andel av det samlede planteplankton i Nordre Puttjern både i 1998 og 1999, men mens gruppen var viktigst på ettersommeren i 1998 var den fremtredende og delvis dominerende på forsommeren i 1999. I 2000 var gruppen av helt underordnet betydning i planteplanktonet, og arter innen slekten *Chlamydomonas* og en liten flagellat innen slekten *Scourfieldia*, som var viktige i 1998 og 1999, ble bare registrert i svært små individantall i 2000. I små sure vannforekomster kan grønnalgene ofte dominere (Brettum 1996). *Scourfieldia* var særlig dominerende innen gruppen i september 1998, mens den dominerte i juni-juli i 1999. Maksimalt utgjorde den omkring en tredjedel av det samlede planteplanktonvolum. Økende andel av grønnalger i planktonsamfunnet blir også ofte registrert i innsjøer som er ute av likevekt pga. kraftige endringer i miljøet som en følge av f.eks. eutrofiering, forsuring og/eller kraftig økt tungmetallpåvirkning, mens andelen går tilbake når planteplanktonsamfunnet blir mer stabilt og forholdene mer normale for denne type skogstjern.

Gruppen Dinophyceae (fureflagellater) var av mindre betydning i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern, vekstsesongen sett under ett. I planktonprøven fra september 1998 var det imidlertid et stort individantall av arten *Peridinium umbonatum* (*P. inconspicuum*) som er en vanlig form i sure vannforekomster. Den foretrekker vanligvis vannforekomster der nitrat er den dominerende nitrogenkilden og ikke ammonium som tilfellet var i Nordre Puttjern i 1998, men øker også når innholdet av nitrat og ammonium samlet øker (Blomqvist og medarb. 1993). I 1999 var innholdet av ammonium mindre enn i 1998. Arten *Peridinium raciborskii* (*P. palustre*) hadde også større bestander i sommerplanktonet i Nordre Puttjern i 1999. Planteplanktonet i 2000 viste igjen store bestander av dinoflagellater, særlig første halvdel av vekstsesongen. På denne tiden var både nitrat og ammoniuminnholdet i vannmassene sterkt redusert. To former av arten *Peridinium umbonatum* dominerte da denne gruppen totalt. (Den minste formen, som før ble kalt *P. inconspicuum* skal, ifølge dagens taxonomi, slås sammen med *P. umbonatum*, men er her holdt adskilt av praktiske grunner for sammenligningens skyld).

Ingen arter innen gruppen Cyanophyceae (blågrønnalger, cyanobakterier) ble registrert i planteplanktonet i Nordre Puttjern noen av årene i perioden 1998-2000. Findlay og Kasian (1991) påpeker at diatomeer eller kiselalger (Bacillariophyceae) og blågrønnalger eller cyanobakterier (Cyanophyceae) reduseres sterkt og mer eller mindre forsvinner fra planteplanktonsamfunnet i sure vannforekomster med pH < 6. Innholdet av planktoniske kiselalger var da også helt ubetydelig i Nordre Puttjern i perioden 1998-2000.

Variasjonene i klorofyll gjennom sesongene 1998, 1999 og 2000 er vist i figur 15. Som figuren viser ble det registrert forholdsvis høye verdier for klorofyll gjennom sesongen 1998 sammenlignet med Søndre Puttjern, med maksimum på mer enn 11 µg/l Chl a i september. Som nevnt tidligere ble prøvene for de tre siste prøvetakings-tidspunktene i 1999 tatt slik at større bestander av fotosyntetiserende bakterier kom med i prøvene. Mengden av bakterieklorofyll kommer med i den analyserte totalmengden klorofyll, og gir derfor et helt annet mål enn planteplanktonklorofyllet alene. Ut fra erfaring med forholdet mellom klorofyll og totalvolum planteplankton fra andre lokaliteter, har en på figuren antydnet omtrent nivået for planteplanktondelen av det samlede klorofyll. Tar en disse forhold i betraktning viser figuren at innholdet av klorofyll i prøvene fra 2000 gjennomgående var høyere enn både i 1998 og 1999, noe som samstemmer med analyseresultatene for de kvantitative planteplanktonprøvene.

Resultatene for planteplankton- og klorofyllanalysene de tre årene viser at innholdet av planteplankton i Nordre Puttjern har økt sterkt, men at planteplanktonsamfunnet likevel ennå har betydelig lavere diversitet enn hva tilfellet var i Søndre Puttjern. Forskjellen var spesielt stor i 1998, da antall registrerte arter eller taksa i Nordre Puttjern var bare det halve av det i Søndre Puttjern, pga. de kraftige endringene som skjedde med vannmassene i Nordre Puttjern som en følge av lekkasjene til Romeriksporten. De bedrete forholdene i 1999 og 2000 har ført til et mer mangfoldig planteplanktonsamfunn igjen, også i Nordre Puttjern.

Den kraftige økningen en registrerte gjennom sesongen 2000 i planteplanktonbiomasse, sammenlignet med 1999, er det vanskelig å gi en god forklaring på, da de kjemiske forholdene, særlig da plantenæringsstoffene fosfor og nitrogen, var tilnærmet de samme de to årene. Det er mulig at en årsak til den økte algebiomassen skyldes at en, på grunn av den økte pH i vannmassene som en registrerte i 1999 og som har fortsatt i 2000, har gitt mulighet for en rekke forsuringsømfintlige arter til på ny å etablere seg i vannmassene i Nordre Puttjern, og at denne prosessen har tatt litt tid.

### 5.1.3 Dyreplankton

Prøver av dyreplankton ble samlet inn månedlig i perioden mai-oktober. 5 enkeltprøver ble samlet inn hver gang ved hjelp av en 3 liters Limnos-henter fra sjiktet 0-6 m i Søndre Puttjern og fra 0-2 m i Nordre Puttjern. Enkeltp prøvene ble i felt slått sammen til en blandprøve som ble filtrert gjennom duk med maskevidde 45 µm. Planktoniske krepsdyr (Crustacea) ble identifisert til art med unntak av copepoditter og nauplier av cyclopoide hoppekreps. Alle individer i prøven ble vanligvis telt opp, men i en del tilfeller med spesielt mye dyr ble nauplier av hoppekreps telt i en representativ delprøve (1/5 eller 1/10). Hjuldyr (Rotifera) ble identifisert til art eller slekt og telt opp i en representativ del av prøven (oftest 1/5 eller 1/10). Ved beregningene av biomasser (tørrvekt) ble det brukt faste spesifikke vekter for de forskjellige hjuldyrartene og for nauplier av cyclopoide og calanoide hoppekreps (Copepoda). For alle vannlopper (Cladocera) samt copepoditter og voksne av hoppekreps ble totallengder målt enten på hvert individ i prøven eller på et representativt utvalg i de tilfellene der individantallet var større enn 20. Tørrvekter av hjuldyr og nauplier samt lengde/vekt-relasjoner for de øvrige gruppene ble utledet fra Bottrell og medarb. (1976), Dumont og medarb. (1975) og Yan og Mackie (1987). Resultatene er gitt i tabellene 7 og 8 i vedlegget og vist i figurene 17, 18 og 19.

### Søndre Puttjern

Dyreplanktonet var i 2000 hovedsakelig dominert av arter som er vanlige i et vidt spekter av innsjøtyper (generalister) i likhet med foregående år. Dominerende krepsdyrarter var den calanoide hoppekrepsen *Eudiaptomus gracilis*, den cyclopoide hoppekrepsen *Cyclops scutifer* og vannloppene *Ceriodaphnia quadrangula* og *Holopedium gibberum*. *H. gibberum* forekommer først og fremst i nærings- og kalkfattige lokaliteter (Hessen og medarb. 1995 a og b). Alle hovedgrupper som er vanlig å finne, var tilstede i planktonet. Hjuldyr, calanoide hoppekreps, cyclopoide hoppekreps og vannlopper

representerte henholdsvis 13, 20, 25 og 41 prosent av totalbiomassen (middel for sesongen), noe som viser en "normal" sammensetning av dyreplanktonet (jfr. Hessen og medarb.1995 b). Totalbiomassen (sesongmiddel ca. 47 mg/m<sup>3</sup>) kan betegnes som middels høy, og det var ingen vesentlig endring i middelbiomassen sammenlignet med de to foregående årene. Krepsdyrplanktonet var dominert av gjennomgående små arter og individer, noe som kunne tyde på et sterkt predasjonspress ("beitepress") fra planktonspisende fisk som f.eks. abbor. Middellengden av voksne hunner av de dominerende vannloppeartene *C. quadrangula* og *H. gibberum* på henholdsvis ca. 0.6 mm og ca. 0.9 mm illustrerer dette. Det forholdet at en vanlig slekt som *Daphnia* så og si manglet, mens den lille arten *Ceriodaphnia quadrangula* forekom i nokså stort antall kan også være et utslag av sterk fiskepredasjon.

Som oppsummering kan vi si at dyreplanktonet i Søndre Puttjern hadde en normal artssammensetning som tydet på relativt næringsfattige forhold og muligens et betydelig predasjonspress fra planktonspisende fisk. Totalbiomassen var middels høy, og det var ingen store endringer i artssammensetning eller biomasser fra de foregående årene.

### Nordre Puttjern

Det totale antallet arter eller taksa av dyreplankton var klart lavere i Nordre Puttjern enn i Søndre Puttjern i 2000 som i de to foregående årene (figur 19). Spesielt var artsantallet av planktoniske krepsdyr lavt, mens artsantallet av hjuldyr var litt høyere enn i Søndre Puttjern. Artsantallet er et enkelt mål på det biologiske mangfoldet i en lokalitet, men sier ikke noe om det er et naturlig mengdeforhold (individantall eller biomasse) eller ikke mellom artene/gruppene. I Nordre Puttjern var dyreplanktonet totalt dominert av gruppen hjuldyr som representerte 98 % av totalbiomassen i gjennomsnitt for sesongen 2000. Dette er en uvanlig stor andel da denne gruppen generelt ikke utgjør mere enn 5-15 % av totalbiomassen i de fleste norske innsjøer (jfr. Hessen og medarb.1995 b). Middelbiomassen på ca. 100 mgTV/m<sup>3</sup> og maksimums-biomassen på ca. 215 mgTV/m<sup>3</sup> i juli kan karakteriseres som høy sammenliknet med andre innsjøer og skogstjern. Det ble observert en markert økning i totalbiomassen i årene 1998-2000, og økningen skyldes utelukkende høyere biomasse av hjuldyr. Bortsett fra en liten bestand av cyclopoide hoppekreps forekom krepsdyrplankton meget sparsomt i 2000 i likhet med i de to foregående årene.

Hjuldryrplanktonet var dominert av *Keratella cochlearis* og andre *Keratella*-arter, men slekter/arter som *Polyarthra*, *Synchaeta*, *Asplanchna priodonta* og *Conochilus* forekom også relativt vanlig. Fra litteraturen er det kjent at hjuldyrene er den gruppen innen dyreplanktonet som gir raskest respons på forandringer i miljøet (Allan 1976). Hjuldyrene er også ofte de første til å rekolonisere en innsjø etter en forurensningssituasjon bl.a. på grunn av svært effektiv spredning og kort generasjonstid, mens krepsdyrene gjerne trenger noe lengre tid for å etablere større bestander. Relativt store mengder beitebare alger (vesentlig "monader") og trolig også høy bakterietetthet (svovelbakterier bl.a.) gjorde at tilgangen på næring sannsynligvis var meget god for hjuldyr som f.eks. *Keratella* spp. i Nordre Puttjern i 2000. Dette skyldes ikke minst manglende konkurranse fra andre viktige alge- og bakteriebeitere som vannlopper.

Det kan være store artsforskjeller med hensyn til toleranse overfor "skadelig" vannkvalitet også blant hjuldyrene. Likevel synes mange arter innen denne gruppen å tåle ekstreme forhold som f.eks. surt vann eller høye konsentrasjoner av metaller og/eller andre forurensninger bedre enn mange av krepsdyrene (se f.eks. Schartau og medarb.1997). Surhetsgraden i de øvre vannmassene (0-2 m) varierte i området pH 5.7-6.7 i 2000, mens den i Søndre Puttjern varierte i området pH 6.2-7.3 (0-6 m dyp). Det er velkjent at artsdiversiteten og biomassen av krepsdyrplankton generelt reduseres ved pH < 5.5-6.0, men her mangler også flere vanlige, forurensningstolerante arter som normalt klarer seg bra i vann med de pH-verdier som ble målt i Nordre Puttjern. Konsentrasjonene av metaller skulle heller ikke ha vært så høye at det ikke var levelige forhold også for flere arter av krepsdyrplankton

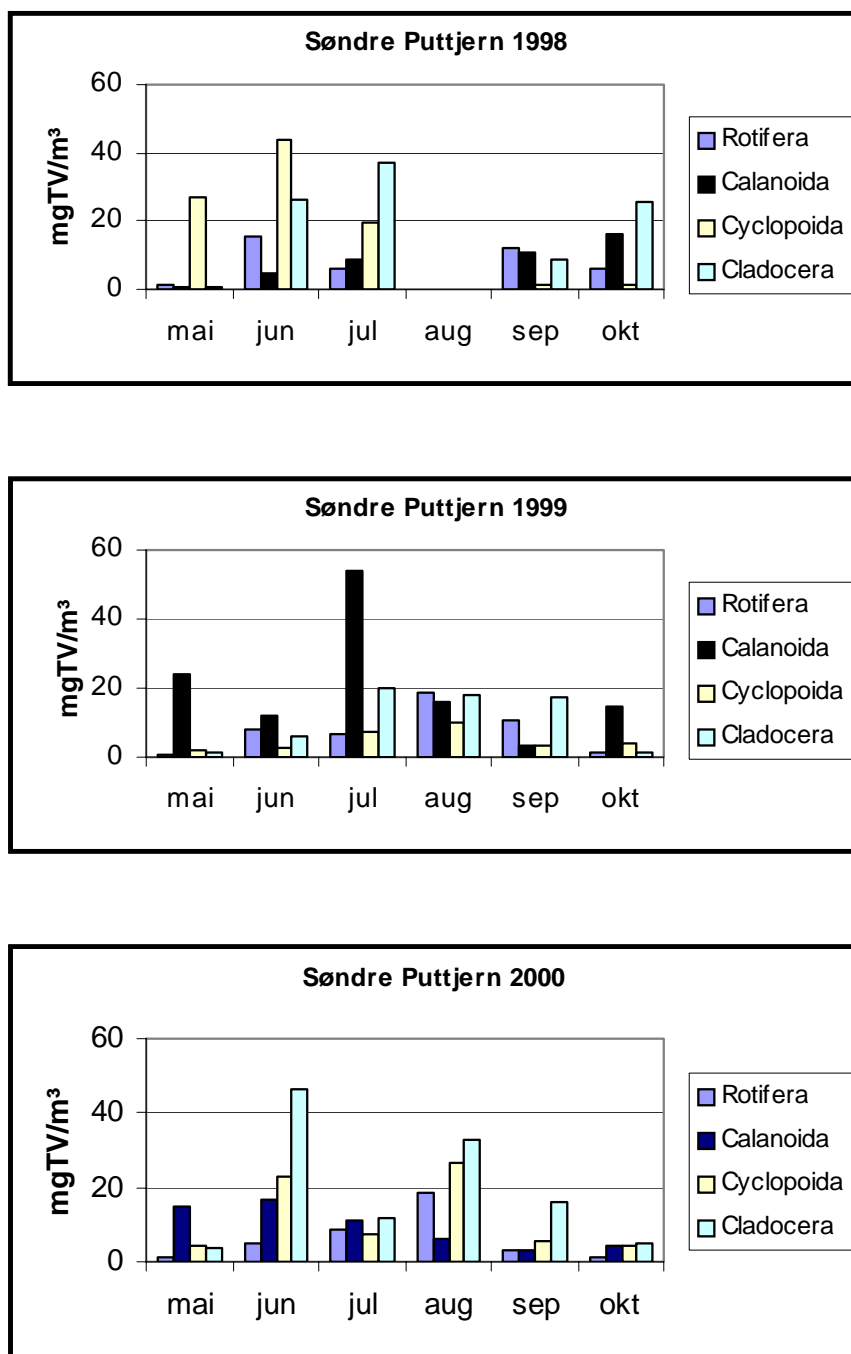


Fig. 17 Dyreplankton i Søndre Puttjern i 1998, 1999 og 2000 fordelt på hovedgruppene hjuldyr (Rotifera), calanoide hoppekreps, cyclopoide hoppekreps og vannlopper (Cladocera). Mengdene er gitt som mg tørrvekt (TV) pr. m<sup>3</sup> i det øvre, varme vannlaget (epilimnion).

(jfr. Biesinger og Christensen 1972). Når det likevel ble funnet så lite krepsdyr, kan det skyldes tidsfaktoren, dvs. at rekoloniseringen vil ta noe lengre tid enn bare et par år.

Hvorfor tar det såpass lang tid å få etablert bestander av krepsdyrplankton i Nordre Puttjern? De fleste dyreplanktonarter overvintrer i form av hvileegg på bunnen av innsjøer og tjern. Disse hvileeggene tåler ekstreme forhold som tørke, frost, oksygenfritt miljø og meget lav pH (f.eks. opphold i fordøyelseskanal). Om våren eller på forsommeren klekkes hvileeggene og danner utgangspunktet for sommerpopulasjonen i de frie vannmasser. Normalt finnes det likevel en "pool" av hvileegg i sedimentet som ikke har blitt klekt (Hairston 1996). Det vil si at om populasjonen i de frie vannmasser slås ut ett år f.eks. på grunn av toksisk vann, vil det sannsynligvis finnes hvileegg som kan klekke og danne en ny bestand i de frie vannmasser neste sommer dersom vannkvaliteten har bedret seg tilstrekkelig. I Nordre Puttjern kan i tillegg tilførsel av dyr med bekken fra Søndre Puttjern ha vært en mulig spredningsveg, men vanntilførselen her har vært svært liten i den senere tid. Transport av hvileegg med vannfugler (ender, vadere og gjess) anses som en annen viktig spredningsveg for krepsdyr.

Kan det likevel være forhold i vannmassene som hindrer/forsinker etableringen av krepsdyrbestander? Dårlige oksygenforhold og  $H_2S$  i bunnvannet gjorde at bare de øverste 2-3 metrene hadde levelige forhold for dyreplankton i sommersesongen. En annen mulig forklaring kan være at hard predasjon ("beiting") fra planktonspisende fisk eller evertebrate predatorer som f.eks. svevemygg (*Chaoborus* spp.) holder eventuelle bestander av krepsdyrplankton på et svært lavt nivå. Vi vet ikke om det har blitt etablert fiskebestander av betydning i Nordre Puttjern, men betydelige mengder *Chaoborus* ble funnet i bunndyrprøver (Å. Brabrand og T. Bremnes, LFI, pers. oppl.), og noen individer av *Chaoborus* ble også funnet i dyreplanktonprøvene både i 1999 og 2000. Fra litteraturen er det kjent at i innsjøer der *Chaoborus* får utvikle tette bestander (pga. liten predasjon fra fisk), vil dette kunne gå hardt utover bestandene av enkelte byttedyr som f.eks. vannlopper (Soranno og medarb. 1993).

Vi kan konkludere med at hjuldyrene har svart på bedringen av vannkvaliteten i Nordre Puttjern i 1999 og 2000 sammenliknet med i 1998 ved økt artsantall og markert økning i bestandene av flere arter. Krepsdyrplanktonet derimot forekom med bare et fåtall arter og svært lav biomasse. Totalt sett hadde derfor dyreplanktonet en uvanlig sammensetning som viste at samfunnet ikke var normalisert ennå. Dataene for vannkvaliteten skulle ikke tilsi at vannet fortsatt virket toksisk på de fleste krepsdyrplankton-arter. Sterkt predasjonspress fra svevemygg (*Chaoborus*) kan imidlertid være en mulig årsak til at reetableringen av krepsdyrplankton tar såpass lang tid.

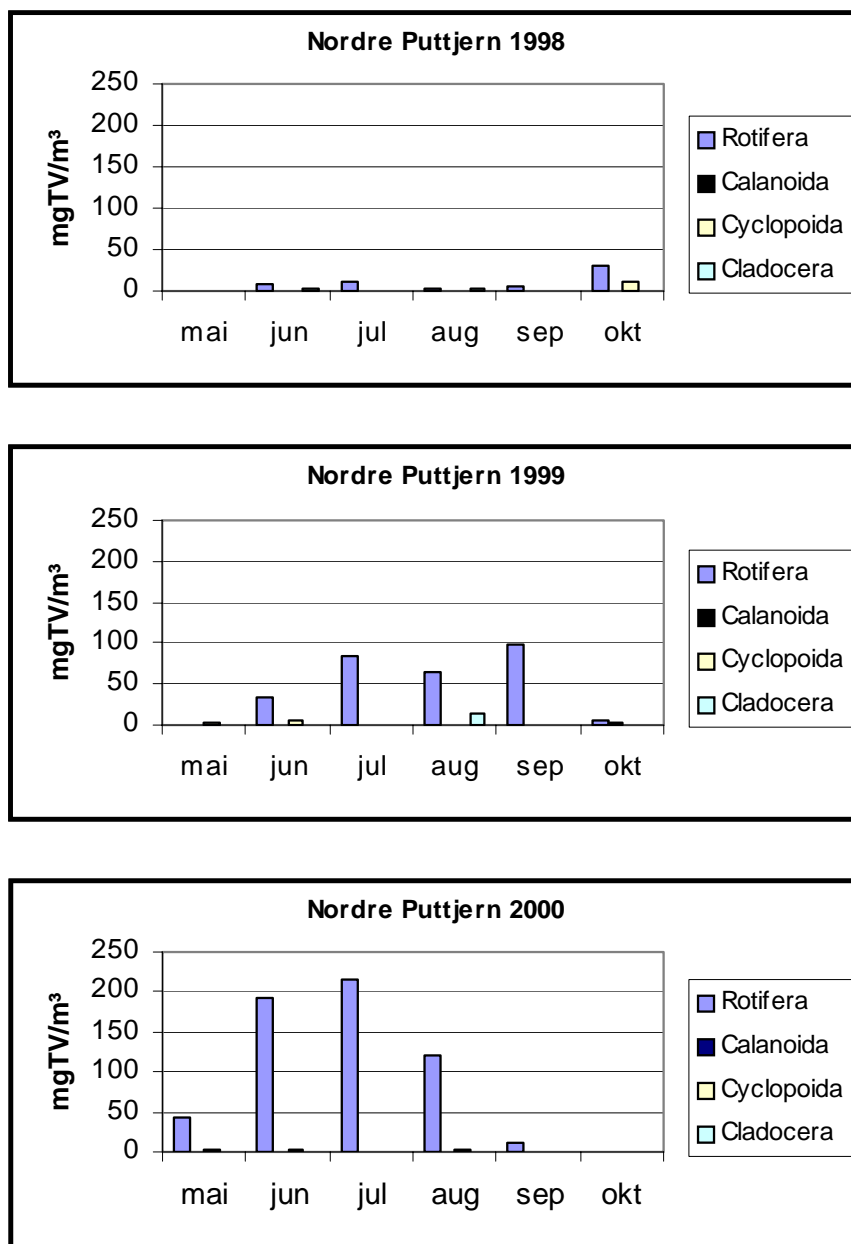


Fig. 18 Dyreplankton i Nordre Puttjern i 1998, 1999 og 2000 fordelt på hovedgruppene hjuldyr (Rotifera), calanoide hoppekreps, cyclopoide hoppekreps og vannlopper (Cladocera). Mengdene er gitt som mg tørrvekt (TV) pr. m<sup>3</sup> i det øvre, varme vannlaget (epilimnion).



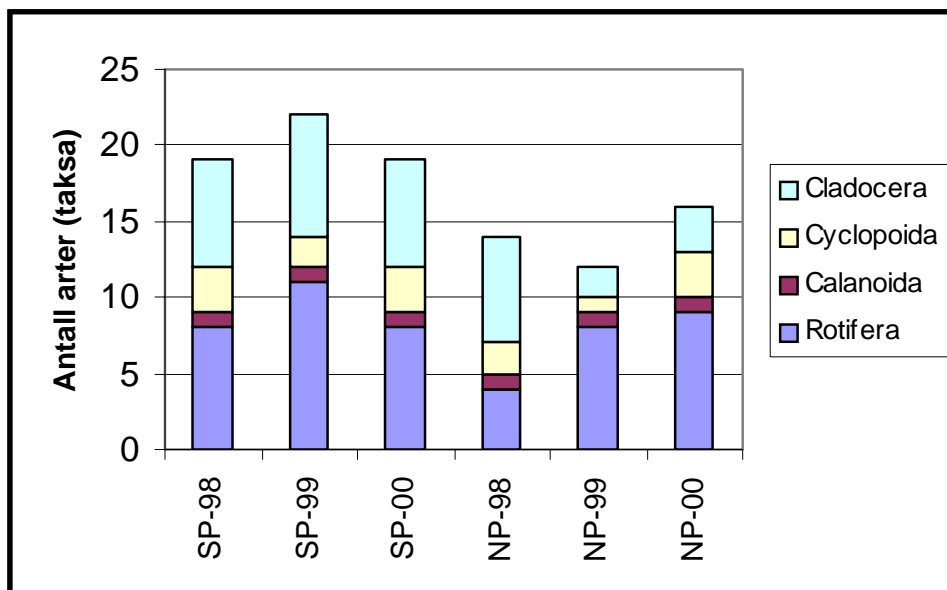


Fig. 19 Totalt antall arter (taksa) av dyreplankton i Søndre og Nordre Puttjern i 1998-2000 fordelt på hovedgrupper. SP = Søndre Puttjern, NP = Nordre Puttjern.

## 5.2 Bekkelokaliteter

### 5.2.1 Fysisk-kjemiske forhold

#### Ellingsrudvassdraget

##### Puttjernsbekken (P1) (figur 20 og 21, tabell 9 i vedlegg)

Figur 20 viser at vannmassene på denne stasjonen i 1998 var gjennomgående forholdsvis sure, men at pH varierte mye fra prøvetaking til prøvetaking, fra svært surt vann med verdier på 4.68 og 4.79 til bare svakt surt med verdier på 6.43 og 6.49. Selv om det var en del variasjoner i pH på denne stasjonen også i 1999, ble minimum da registrert med 5.51 og maksimum med 6.72, litt høyere enn i 1998. I 2000 var variasjonene på prøvetakingstidspunktene innenfor det samme intervallet som i 1999, med minimum på 5.81 og maksimum på 6.50. Nedgangen i pH i oktober sammenlignet med september 2000 skyldtes antagelig at det da rant vann ut av Nordre Puttjern til bekken, med noe surere vann enn det som kom fra nedbørfeltet nedenfor.

I 1998 rant det ikke vann ut av Nordre Puttjern til bekken etter at lekkasjene til Romeriksporten startet, med unntak av en kort periode helt i begynnelsen av november. Vannet i Puttjernsbekken var mer eller mindre surt avhengig av om det meste av vannet kom fra nedbørfeltet til bekken nedenfor utløpet fra Nordre Puttjern, eller fra større myrområder lenger ned og vest for utløpsbekken med meget surt vann. Avløpet fra disse myrområdene løper sammen med bekkeløpet fra Nordre Puttjern før prøvetakingsstasjonen (P1).

Store deler av sesongen 1999 rant det vann ut av Nordre Puttjern til bekken. Som vi har sett økte pH i de øverste vannlag i tjernet betraktelig i 1999 noe som kan ha vært medvirkende til å dempe noe av innflytelsen av det surere vannet fra myrområdene lengre nede. Den lave pH-verdien i juli 2000, da det rant svært lite vann i Puttjernsbekken, kan skyldes at det meste av avrenningen forbi stasjon P1 da kom fra disse myrområdene.

Konduktiviteten varierte mye i 1998, fra 3.19 til 9.07 mS/m og partikkelinnholdet målt som turbiditet viste da forholdsvis lave verdier, for det meste mellom 0.3 og 0.8 FTU, men økte av og til ved snøsmelting og mye nedbør som førte til økt utvasking til bekken. I 1999 varierte også verdiene for konduktivitet relativt mye, fra 3.26 til 8.25 mS/m, altså innenfor samme ramme som i 1998. For turbiditeten lå de fleste målingene i 1999 også mellom 0.3 og 0.8 FTU som i 1998, men økte kraftig til 1.40 og 2.90 FTU i en periode med lite nedbør, da omtrent alt vannet kom fra myrområdene lenger ned. På samme måte som for pH ble det registrert jevnere verdier gjennom sesongen 2000 for konduktivitet, som varierte mellom 4.37 og 5.71 mS/m. Turbiditeten var også relativt jevn, men for det meste noe høyere enn i 1999. I juli var det minimum også for turbiditet. Dette var en forholdsvis tørr periode da det meste av vannet til bekken var noe surere, elektrolyttfattig vann med mindre partikkelinnhold.

Verdiene for farge var for det meste meget høye men varierte svært i 1998, fra 34.6 mg/l Pt og relativt lite tilførsler av myrvann, til over 200 mg/l Pt. Dette viser kraftig påvirkning av myrvann med høyt humusinnhold. I 1999 lå fargeverdiene for de fleste målingene mellom 64.7 og 103 mg/l Pt, men i perioden med lite nedbør, fra midten av august til midten av september, økte verdiene helt opp i 285 mg/l Pt som viser stort humusinnhold i vannet og mest tilførsler fra myrområdene. I 2000 var fargeverdiene, som verdiene for andre parametre, jevnere gjennom feltsesongen. De varierte mellom 54.2 og 132 mg/l Pt. Høye verdier om sommeren med mest vann fra myrområdene, men også i oktober

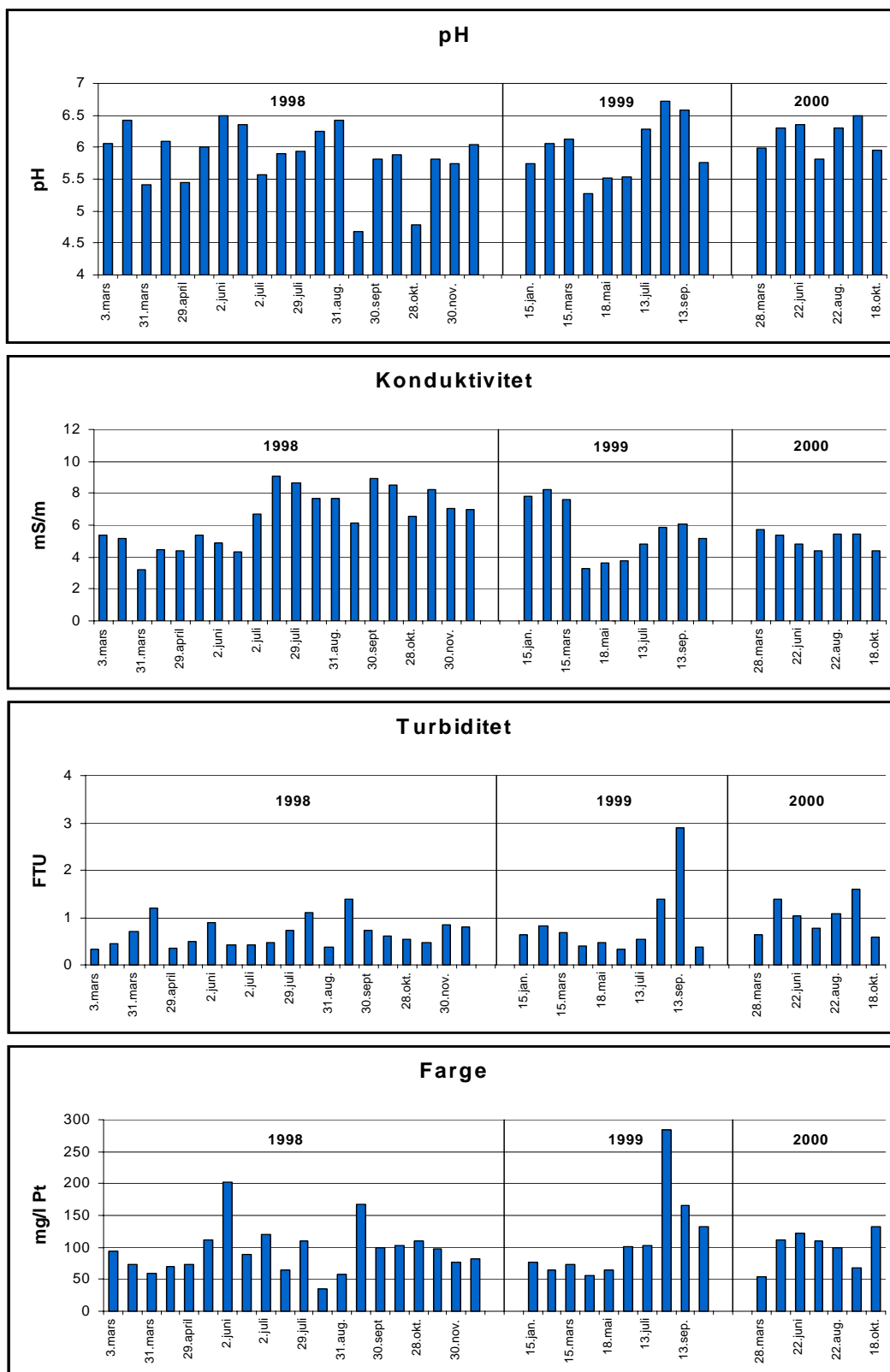


Fig. 20 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Puttjernsbekken (P1) 1998-2000.

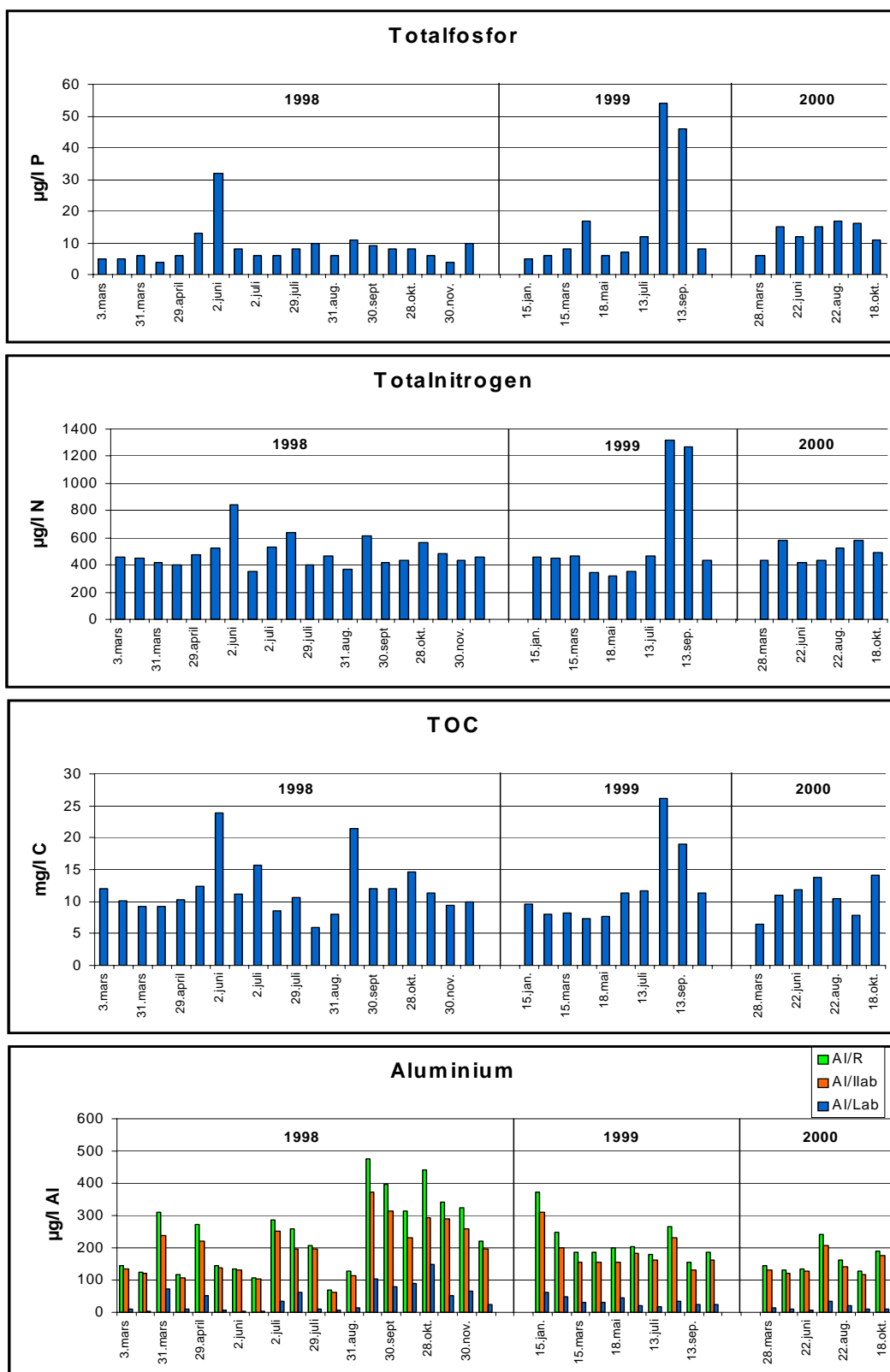


Fig. 21 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og aluminium i Puttjernsbekken (P1) 1998 - 2000.

da bekken fikk mye vann også fra utløpet av Nordre Puttjern, som har vann med høye fargetallsverdier.

Innholdet av totalt organisk karbon (TOC) var på samme måte svært varierende i 1998 og viste samme varierende påvirkning av vanntyper. I 1998 lå verdiene for det meste mellom 6.0 og 15.7 mg/l C med kraftig økning til 23.9 mg/l C. I 1999 lå de fleste verdiene mellom 7.4 og 11.7, men med økning til 26.2 mg/l C i den tørre perioden med hovedsakelig tilførsler fra myrområdene. Målingene viser at det er mye organisk stoff, vesentlig i form av humusstoffer, i vannet. Gjennom 2000 var det jevnere verdier også for TOC som varierte mellom 6.5 og 14.2 mg/l C. Høyeste verdien ble registrert i juli med mye myrvann og i oktober med humusholdig vann fra Nordre Puttjern til bekken.

I 1998 varierte totalfosforinnholdet for det meste mellom 4 og 8 µg/l P, men enkelte analyseresultater viste verdier på 9, 13 og hele 32 µg/l P på denne stasjonen. I 1999 lå de fleste målingene av totalfosfor mellom 5 og 12 µg/l P, men i forbindelse med en lengre tørkeperiode, ble totalfosforverdier på hele 46 og 54 µg/l P målt. Totalfosfor varierte i 2000 mellom 6 og 17 µg/l P. Totalnitrogen i Puttjernsbekken viser gjennomgående noe høyere verdier enn en vanligvis registrerer i vann som drenerer fra relativt sure skogs- og myrområder. Verdiene varierte mye i 1998, for det meste mellom 355 og 635 µg/l N men også med en verdi på hele 840 µg/l N. I 1999 lå verdiene mellom 320 og 465 µg/l N, men en kraftig økning ble registrert også for denne parameteren ved målingene i august og september. Da ble det målt nær det tredobbelte for totalnitrogen, 1270 og 1320 µg/l N. I 2000 viste totalnitrogen mellom 415 og 580 µg/l N noe som er jevnere verdier enn tidligere år.

Sure vannmasser fører til økt utløsning av aluminium, og verdiene som ble registrert var i 1998 ganske høye men svært variable. Labilt aluminium varierte mellom 2 og 148 µg/l Al. 14. september og 28. oktober ble innholdet av labilt aluminium beregnet til 105 og 148 µg/l Al. Tilsvarende målinger i 1999 viste labilt aluminium mellom 16 og 63 µg/l Al. Det ble registrert noe mindre variasjoner i aluminiumsinnholdet i 1999 enn i 1998. Gjennom sesongen 2000 varierte labilt aluminium mellom 8 og 36 µg/l Al, noe som er under tålegrensen for ørret, 80 µg/l labilt Al (Lydersen og Löfgren 2001).

## **Lutvann- / Nøkle vannsvassdraget**

Lutvannsbekken har tilførsler både fra Lutvann og Kroktjern. Opprinnelig var utløpet fra Kroktjern i sørenden av tjernet med avløp til Hauktjern, men ved å sprengte en tunnel ble utløpsbekken fra tjernet flyttet til vestsiden. Den nye bekken fra Kroktjern kunne, i den nedre delen, tidligere enten renne til Lutvannsbekken nedenfor dammen ved utløpet fra Lutvann, eller via en kanal inn i Lutvann, eller ha tilløp begge veier. Fra midten av september 1998 er tilløpet inn i Lutvann stengt av, og bekken fra Kroktjern renner nå direkte til Lutvannsbekken. Lutvann er demmet opp, og demningen ble fornyet og tettet sommeren 1998. En anordning ved demningen gjør det mulig å tappe ut fra Lutvann en definerte vannmengde for å garantere minstevannføring i Lutvannsbekken i tørre perioder (200 l/min). Nærmere om dette se Lien (1998). Kraftig nedbør gjør at Kroktjernsbekken får større innflytelse på Lutvannsbekken, da demningen i Lutvann virker dempende på tilførslene til bekken av vann derfra.

Målingene av vannføringen i Lutvannsbekken var svært mangelfull gjennom sesongen 2000, men en har målinger for juli og oktober (se tidligere under vannføringsmålingene avsnitt 4.2). I juli var det liten vannføring og målingene viser at den da varierte mellom 0.02 og 4.35 med et snitt på 2.03 l/s ved stasjon L0. Omgjort i l/min vil dette si fra 1.2 til 261 med et snitt for perioden på 122 l/min i juli. Det meste av juli var altså vannføringen i Lutvannsbekken godt under den garanterte minstevannføringen på 200 l/min.

I 1998 ble prøver samlet inn og analysert på kjemisk-fysiske parametre fra en prøvetakingsstasjon i bekkens nedre del, ca. to tredeler av strekningen fra Lutvannsdemningen til Nøklevatn. Fra denne

stasjonen i Lutvannsbekken, L1, ble det samlet inn prøver også i 1999 og 2000. I tillegg ble det i 1999 og 2000 samlet inn og analysert prøver fra en bekkestasjon øverst i Lutvannsbekken ved demningen, stasjon L0. For å se hvilken innflytelse vann fra Kroktjern hadde på vannkvaliteten i Lutvannsbekken, ble det også samlet inn prøver fra en stasjon nederst i Kroktjernsbekken, før samløp med Lutvannsbekken, både i 1999 og i 2000.

### **Lutvannsbekken (L1)** (figur 22 og 23, tabell 10 i vedlegg)

De kjemiske parametrene varierer avhengig av om det meste av vannet i bekken kommer fra Lutvann via demningen, eller det kommer relativt mye vann fra Kroktjernsbekken. Verdier for flere fysisk-kjemiske parametre er for det meste svært forskjellige i vannmassene i Lutvann og Kroktjern, som vist tidligere (Brettum og Løvik 1999).

På grunn av blandingen av vann fra de to innsjøene varierte verdiene for pH en del gjennom sesongen i 1998, fra 6.48 til 7.51. Kroktjern har vært kalket men pH-verdiene er lavere enn i Lutvann. Variasjonene i pH er derfor en måte å se hvilken type vann som dominerer i bekken til enhver tid. pH i Lutvann lå hele sesongen i 1998 godt over 7. I 1999 ble det også registrert høye pH-verdier gjennom sesongen i Lutvannsbekken, for det meste mellom 6.82 og 7.43. Gjennom 2000 viser analyseresultatene for stasjon L1 hele tiden en pH over 7, varierende mellom 7.02 og 7.46. De høyere og jevnere verdiene skyldes at pH i Kroktjernsbekken gjennom store deler av sesongen 2000 for det meste var høyere enn i 1999, slik at vann herfra ikke virket så reduserende på pH i Lutvannsbekken etter samløp, som tidligere (se under Kroktjernsbekken). Kroktjern har vært kalket i perioden.

Konduktiviteten reflekterer at de laveste verdiene har en i perioden med snøsmelting i området, og perioder med mer vann fra Kroktjern til Lutvannsbekken ved stor nedbør. Vannet fra Lutvann har naturlig høy konduktivitet. På etterm vinteren og under snøsmeltingsperioden i 1998 ble minimum i konduktivitet med 3.42 mS/m registrert. Maksimum kom i perioder med tørke, da vann fra Lutvann dominerte. I 1998 var maksimum 8.55 mS/m. Under snøsmeltingen i april ble minimum registrert også i 1999. Verdien var da 2.81, mens maksimum kom i september med 8.04 mS/m. Dette var i en periode med lengre tids tørke og før store nedbørmengder kom mot slutten av måneden. Kroktjernsbekken var i 1999 tørrlagt på den tiden, så alt vannet som gikk i bekken kom fra Lutvann. I 2000 hadde vannet fra Kroktjern høyere konduktivitet enn i 1999, noe som gjorde at vannet i Lutvannsbekken ved stasjon L1 i 2000 gjennomgående hadde høyere konduktivitet enn i 1999, og varierte mellom 4.69 og 7.28 mS/m.

Turbiditetsverdiene lå i Lutvannsbekken ved L1 under 1.0 FTU i 1998 og 1999, under normale forhold. De høye verdiene som figuren viser for turbiditet om sommeren 1998 skyldtes gravearbeider ved demningen, og trafikk langs bekken i anleggstiden. I 2000 viser figur 22 at turbiditeten var noe høyere enn i 1999 men også i år lav, for det meste under 1.0 FTU. Dette viser vann med et svært lite partikkelinnhold.

Fargetallene viser tydelig innflytelsen fra de ulike vanntypene til Lutvannsbekken med høyt fargetall når vann fra Kroktjernsbekken og nedbørfeltet nedenfor Kroktjern har betydning, og lave fargetall når det meste av vannet kommer fra Lutvann. I 1998 varierte verdiene det meste av året mellom 15.9 og 43.2 mg/l Pt. I forbindelse med mye nedbør og økt avrenning fra Kroktjernsbekken økte imidlertid fargetallet markert i september og oktober med 56.6 og 63.0 mg/l Pt. I 1999 var verdiene noe jevnere, mellom 14.4 og 36.1 mg/l Pt. Variasjonene i innhold av totalt organisk karbon (TOC) følger, som figur 23 viser, helt ut variasjonene i fargetallet både i 1998 og 1999 og viser at det er humusinnholdet i vannet som er grunnlaget for TOC. Høyeste målte verdier var i 1998 på 8.8 og laveste 3.3 mg/l C. I 1999 var tilsvarende verdier lavere, henholdsvis 1.9 og 5.3 mg/l C. Gjennom sesongen 2000 viser figuren at fargetallet for det meste lå lavere enn i 1999 og det samme var tilfelle med TOC. Høyeste verdien for både fargetall og TOC i 2000 ble registrert i juli med den minste vannføringen i

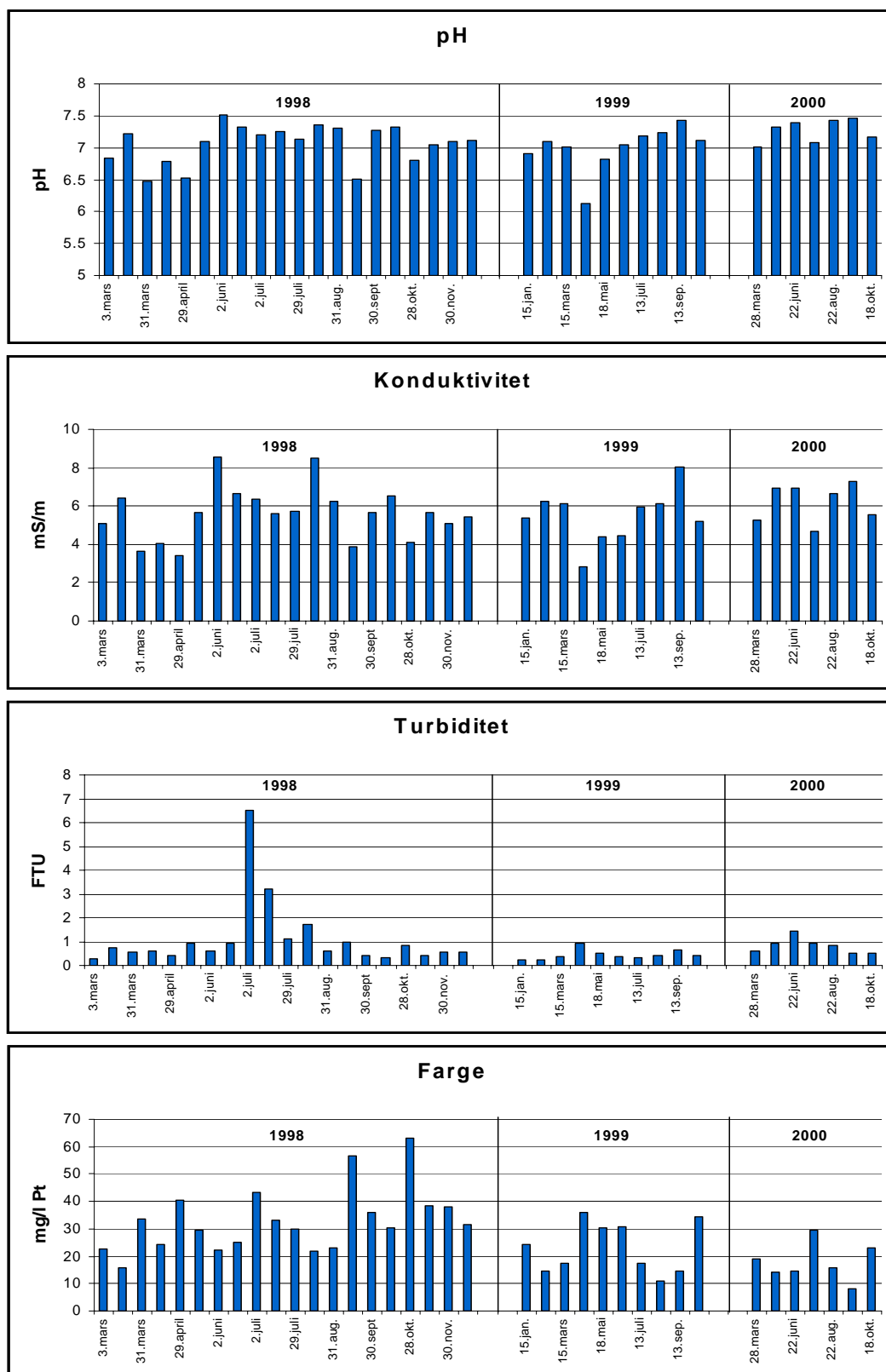


Fig. 22 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Lutvannsbekken (L1) 1998-2000.

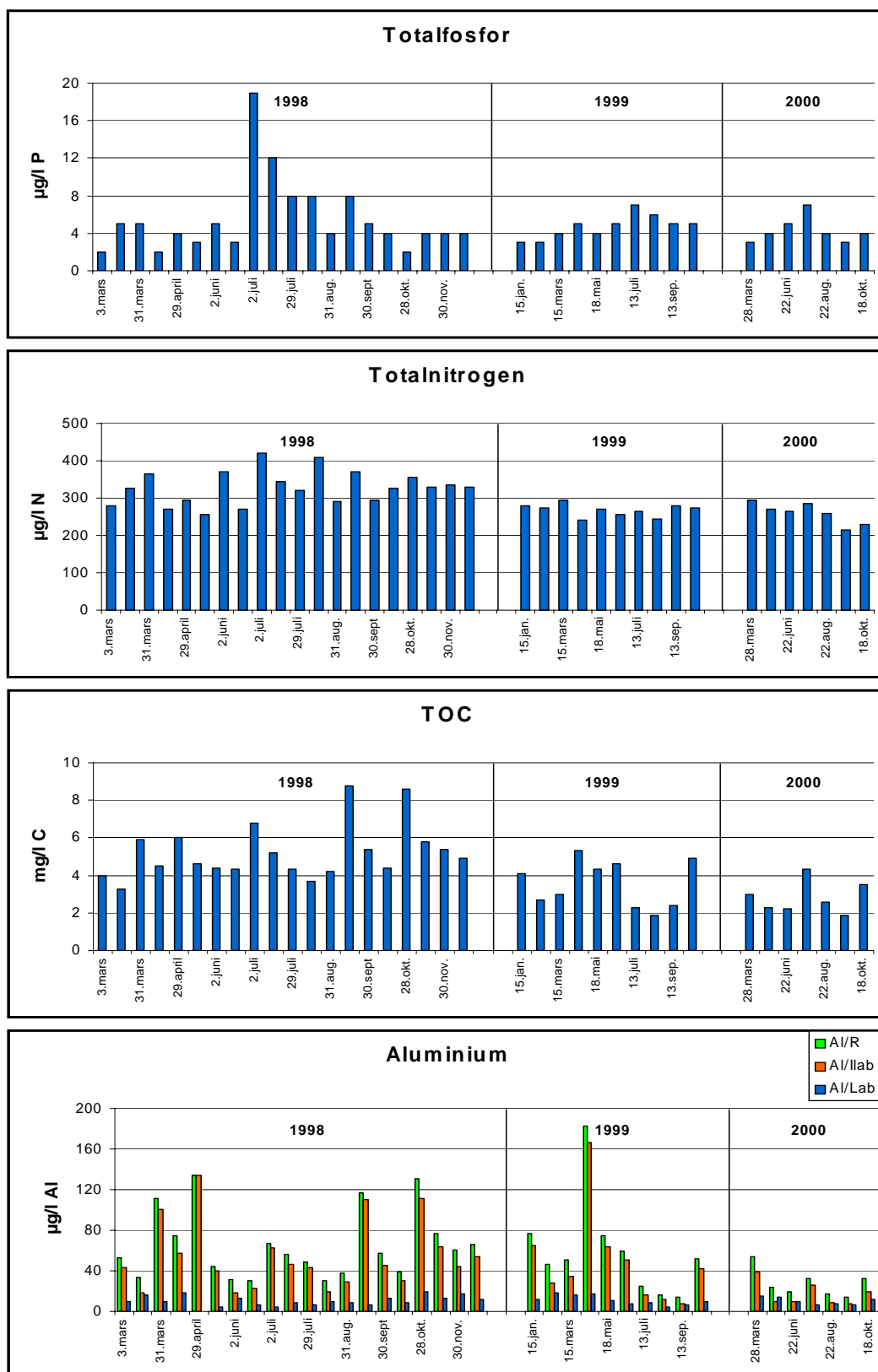


Fig. 23 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og aluminium i Lutvannsbekken (L1) 1998-2000.



Lutvannsbekken og mer påvirkning av vann fra Kroktjernsbekken, og i oktober med mye nedbør og relativt sett større andel av vann fra Kroktjernsbekken til Lutvannsbekken. Fargetallet i 2000 lå mellom 8.3 og 29.7 mg/l Pt på stasjon L1 og TOC mellom 1.9 og 4.3 mg/l C.

Med unntak av høyere verdier i forbindelse med gravearbeidene og trafikk med gravemaskinen langs bekken i 1998, var det relativt lave verdier for totalfosfor i bekkevannet. I 1998 varierte det mellom 2 og 8 og i 1999 mellom 3 og 7 µg/l P. Som figuren viser ble det registrert totalfosfor på 19 µg/l P under anleggsvirksomheten. Totalnitrogen hadde i 1998 verdier mellom 255 og 420 µg/l N, mens de i 1999 var en del lavere, mellom 240 og 295 µg/l N. Analyseresultatene for 2000 på L1 viser (figur 23) variasjoner i totalfosfor og totalnitrogen omtrent som i sesongen 1999. Totalfosfor varierte mellom 3 og 7 µg/l P og totalnitrogen mellom 215 og 295 µg/l N.

Høyeste verdi for reaktivt aluminium var 134 µg/l Al i 1998 og 183 µg/l Al i 1999. Innholdet av labilt aluminium var imidlertid ikke over 20 µg/l Al i 1998 og 18 µg/l Al i 1999, m.a.o. godt under giftighetsgrensen for laksefisk. Resultatene for 2000 viser ennå lavere verdier for aluminium med maksimum for labilt aluminium på 15 µg/l Al.

#### **Lutvannsbekken (L0)** (figur 24 og 25, tabell 11 i vedlegg)

En ny prøvetakingsstasjon ble lagt i øvre delen av bekken rett etter utløpet av Lutvann i 1999. Denne ble fulgt opp også i 2000. Prøvene fra denne stasjonen ble analysert for de samme parametrene som de andre bekkestasjonene.

Som figur 24 viser var det høye pH-verdier gjennom hele sesongen både i 1999 og 2000. Vannet på denne stasjonen er vann som har rent over demningen fra Lutvann, som er sterkt grunnvannspåvirket. Ved snøsmelting og kraftig nedbør vil innsjøen kunne tilføres noe mer vann fra nedbørfeltet, men nedbørfeltet er lite for Lutvann. Høyeste pH-verdi var i 1999 7.40, laveste 6.84. I 2000 var laveste registrerte pH på stasjon L0 6.96 og høyeste 7.30.

Figuren viser videre at konduktiviteten på denne stasjonen var jevn gjennom hele sesongen begge årene. I 1999 varierte den mellom 5.91 til 7.46 mS/m, mens den i 2000 varierte mellom 6.48 og 7.15 mS/m. De noe større variasjonene i pH, men særlig i konduktivitet på stasjon L1 lenger ned i bekken sammenlignet med resultatene for L0, viser varierende påvirkning fra Kroktjernsbekken og tilløp fra Lutvannsbekkens nærområder under nedbørsperioder.

Da partikkelinnholdet i Lutvann er svært lite, vil også vannet på stasjon L0 det meste av sesongen inneholde lite partikler. Turbiditeten lå da også gjennom sesongen 1999 mellom 0.25 og 0.61 FTU, som viste svært lite partikkelinnhold i vannet. I sesongen 2000 derimot var det markert høyere partikkelinnhold, særlig i sommermånedene, med maksimum i juli på 1.31 FTU. Hva som er årsaken til økningen er det vanskelig å si noe om, men en del aktiviteter rundt og ved demningen i forbindelse med arbeid der, kan muligens være årsaken.

Også fargetallet er svært lite i Lutvann, og fargetallsverdiene på stasjon L0 gjenspeiler dette og er lave, noe som viser et svært lite humusinnhold. Fargen varierte i 1999 mellom 4.05 og 10.20 mg/l Pt. I 2000 lå verdiene for fargetall mellom 6.56 og 9.75 mg/l Pt, det vil si innen det samme variasjonsintervallet som i 1999, men jevnere. Det er også svært lite organisk materiale i vannet på denne stasjonen som det er i Lutvann. TOC varierte i 1999 mellom 1.4 og 2.2 mg/l C, og i 2000 mellom 1.5 og 1.8 mg/l C.

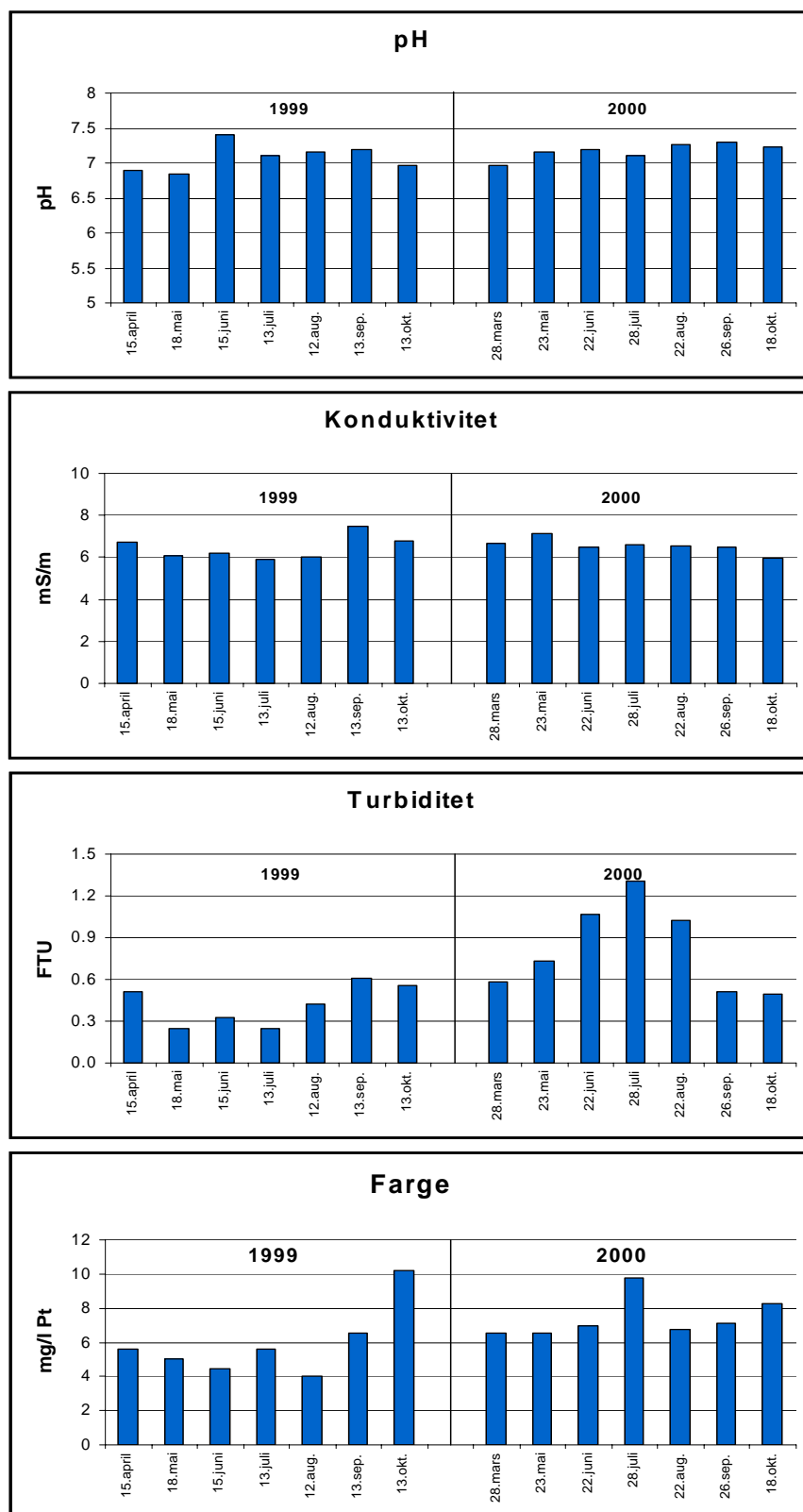


Fig. 24 Variasjoner i pH, konduktivitet, turbiditet og farge i Lutvannsbekken (L0) i 1999 og 2000 (ved utløp fra Lutvatn, før samløp med Krokstjernsbekken).

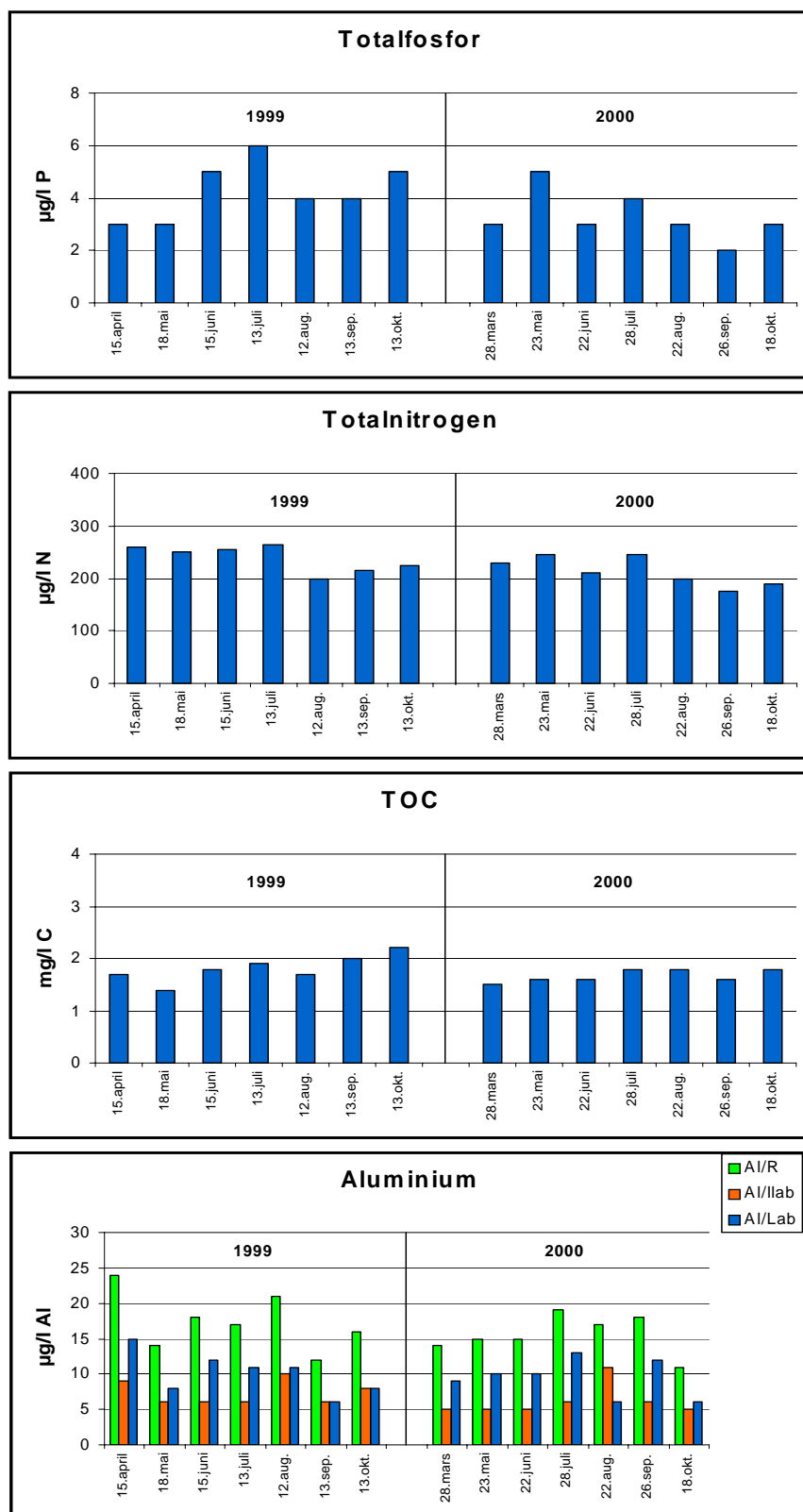


Fig. 25 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og aluminium i Lutvannsbekken (L0) i 1999-2000 (ved utløp fra Lutvatn, før samtløp med Kroktjernsbekken).

Innholdet av næringssaltene fosfor og nitrogen var, som undersøkelserne i 1998 viste, svært lite i Lutvann. Innholdet av totalfosfor og totalnitrogen blir derfor lite også i vann fra innsjøen til stasjon L0 i Lutvannsbekken. I 1999 lå de registrerte verdiene for totalfosfor mellom 3 og 6 µg/l P og for totalnitrogen mellom 200 og 265 µg/l N. Gjennom sesongen 2000 varierte totalfosfor mellom 2 og 5 µg/l P og totalnitrogen mellom 175 og 245 µg/l N. Dette er lave verdier for begge parametre, og noe lavere enn de registrerte verdiene for de samme parametre for L1 lenger ned i bekken.

Innholdet av labilt aluminium lå, som figur 25 viser, under 15 µg/l Al gjennom hele sesongen 1999, og under 13 µg/l Al gjennom sesongen 2000.

### **Kroktjernsbekken (Kr1)** (figur 26 og 27, tabell 12 i vedlegg)

Kroktjern, hvor nåværende Kroktjernsbekken kommer fra via en tunnel sprengt gjennom fjellet på vestsiden av tjernet, er i utgangspunktet et surt, humøst skogstjern. Tjernet er imidlertid kalket ved flere anledninger, og også i perioden med undersøkelser.

Ved to prøvetakingstidspunkter, 12. august og 13. September i 1999, var Kroktjernsbekken, som renner inn i Lutvannsbekkens øvre del, tørrlagt. Det ble derfor begrenset med data fra denne stasjonen i 1999. Gjennom feltsesongen 2000 rant det derimot vann i bekken hele tiden.

Figur 26 viser at det i april 1999 ble registrert lav pH, bare 5.19. Dette skyldtes stor tilførsel av surt smeltevann fra nedbørfeltet. Resten av sesongen med vann fra Kroktjern lå pH mellom 6.44 og 6.69 i 1999, det vil si en relativt høy pH. I 2000 ble prøvene tatt i mars og mai, det vil si i perioden før snøsmeltingen var i gang og etter at snøen var smeltet. Om det har vært tilsvarende lave pH-verdier i 2000 under snøsmeltingen vet en derfor ikke. Ved prøvetakingstidspunktene varierte pH i 2000 mellom 6.40 og 6.93 i Kroktjernsbekken. Konduktiviteten var lav, noe som viser et forholdsvis lite innhold av løste salter. Konduktiviteten varierte i 1999 mellom 2.43 og 3.50 mS/m, og i 2000 mellom 3.12 og 3.91 mS/m.

Også innholdet av partikler var meget lavt gjennom sesongene både i 1999 og 2000, med verdier for turbiditet på bare 0.22 til 0.43 FTU i 1999 og 0.20 til 0.50 FTU i 2000. Selv etter langvarig og kraftig nedbør senhøsten 2000 ble det ikke registrert høyere verdi for turbiditet enn 0.50 FTU. Verdiene for fargetall viser derimot at vannmassene til tider er en del humuspåvirket. Fargetallet lå i 1999 mellom 20.3 og 42.7 mg/l Pt og i 2000 mellom 11.0 og 46.0 mg/l Pt. Dette viser også verdiene for TOC som varierte mellom 4.4 og 6.1 mg/l C i 1999 og 2.6 og 7.0 mg/l C i 2000.

Figur 27 viser at innholdet av næringssaltene fosfor og nitrogen også i Kroktjernsbekken er lavt. I 1999 varierte totalfosfor mellom 3 og 6 µg/l P og i 2000 mellom 2 og 5 µg/l P. Totalnitrogen varierte i 1999 mellom 215 og 370 µg/l N og i 2000 mellom 195 og 300 µg/l N.

Innholdet av labilt aluminium ble i snøsmeltingperioden beregnet til 84 µg/l Al i 1999. Resten av sesongen 1999 var de beregnede verdiene for labilt aluminium meget lavere. Gjennom sesongen 2000 var verdiene for aluminium for det meste lavere enn i 1999, og innholdet av labilt aluminium oversteg på prøvetakingstidspunktene ikke 12 µg/l Al.

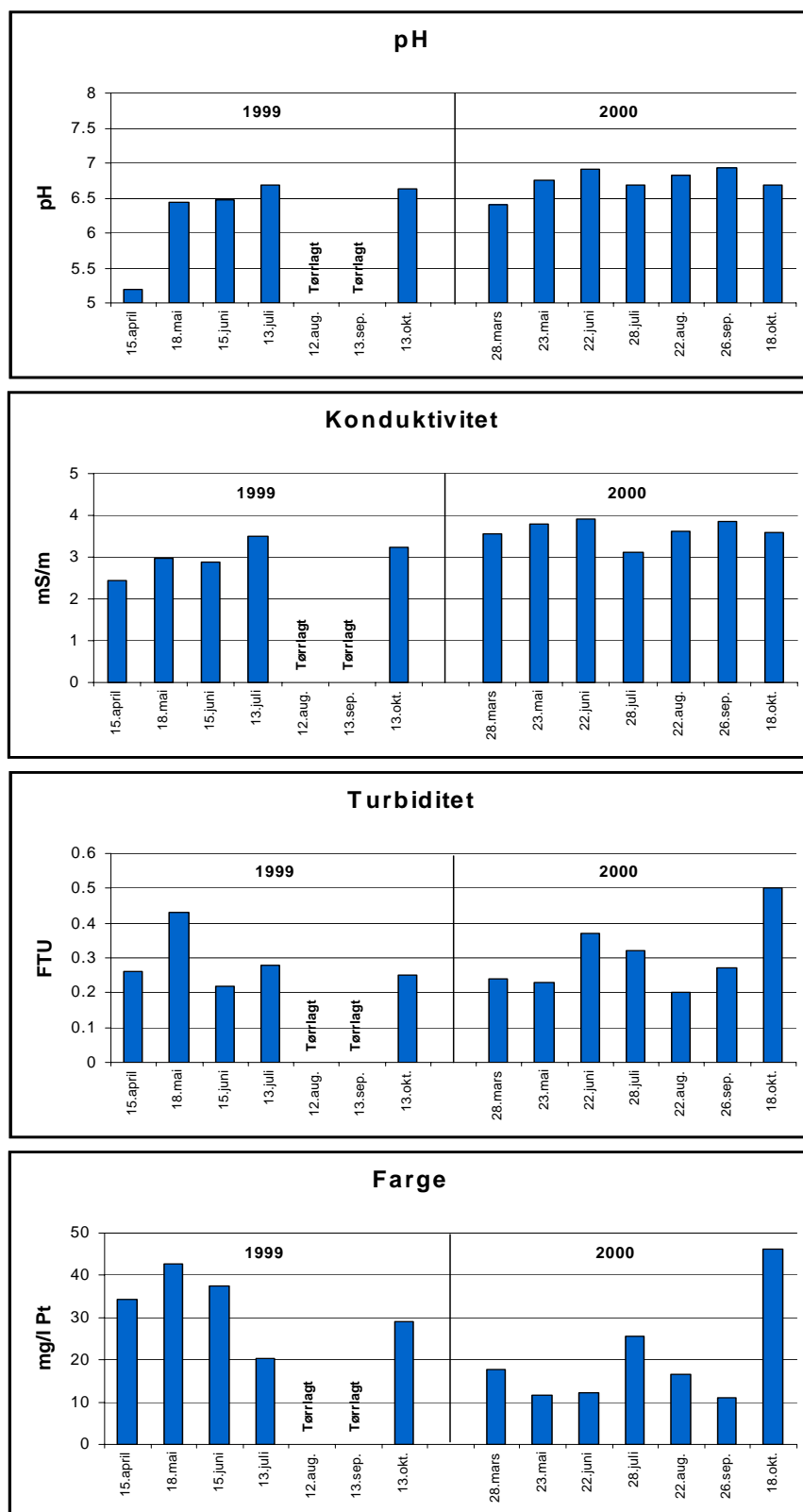


Fig. 26 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og aluminium i Kroktjernsbekken (Kr.1) i 1999-2000 (før samløp med Lutvannsbekken).

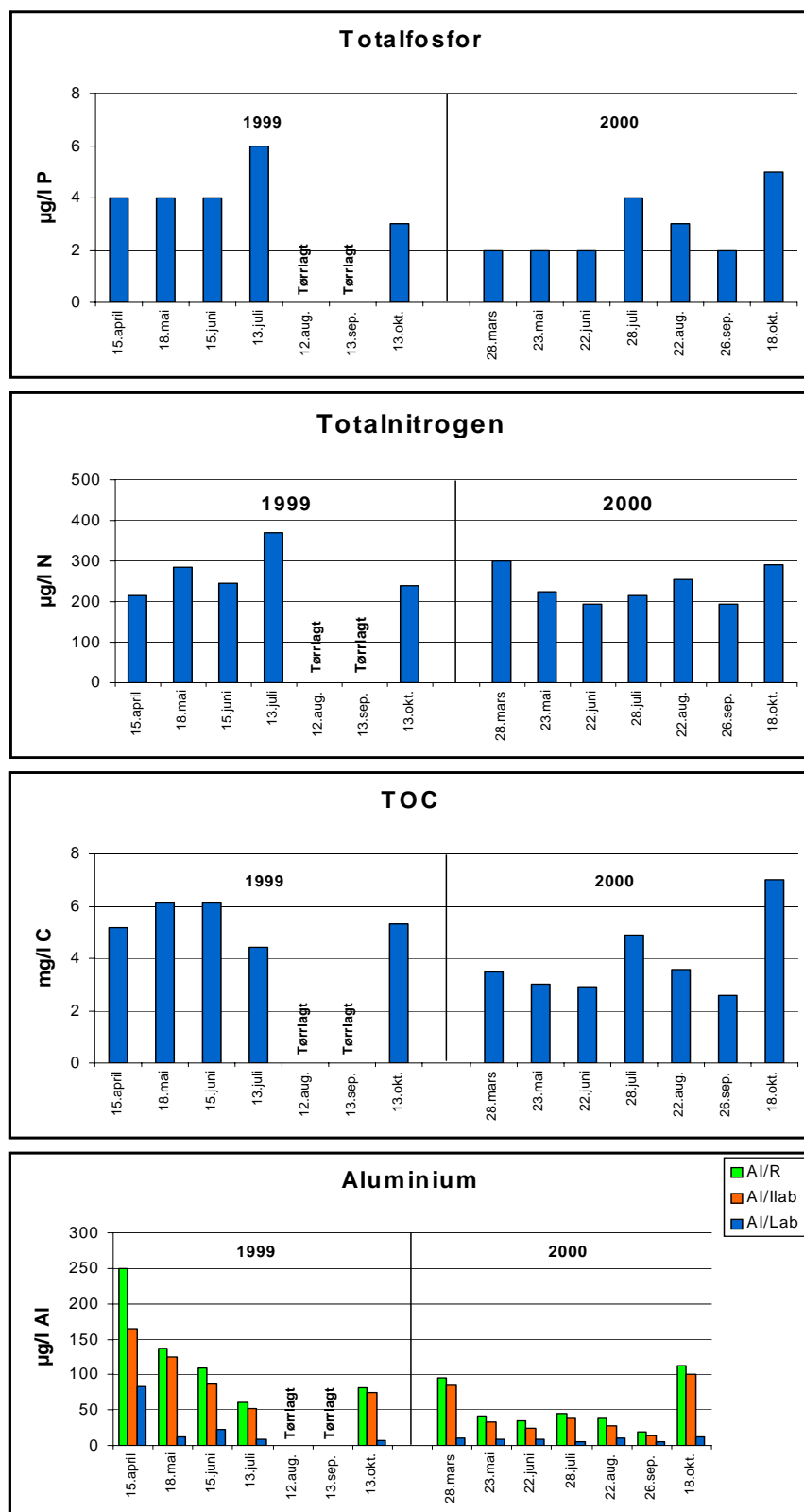


Fig. 27 Variasjoner i totalfosfor, totalnitrogen, TOC og aluminium i Kroktjernsbekken (Kr.1) i 1999-2000 (før samlop med Lutvannsbekken).

## 6. Referanser

- Allan, J.D. 1976. Life history patterns in zooplankton. Amer. Natur. 110: 165-180.
- Biesinger, K. og G.M. Christensen. 1972. Effects of various metals on survival, growth, reproduction and metabolism of *Daphnia magna*. J. Fish. Res. Bd. Canada 29: 1691-1700.
- Blomqvist, P., Bell, R.T., Olofsson, H., Stensdotter, U. og Vrede, K. 1993. Pelagic Ecosystem Responses to Nutrient Additions in Acidified and Limed Lakes in Sweden. Ambio 22 (5): 283-289.
- Bottrell, H.H., A. Duncan, Z.M. Gliwics, E. Grygierek, A. Herzig, A. Hillbricht-Ilkowska, H. Kurasawa, P. Larsson, og T. Weglenska. 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. Norw. J. Zool. 24: 419-456.
- Bratli, J.L., Andersen, J.R., Fjeld, E., Faafeng, B., Grande, M., Hem, L., Holtan, H., Krogh, T., Lund, V., Rosland, D., Rosseland, B.O., og Aanes, K.J. 1997. 1997. Statens forurensningstilsyn (SFT). Klassifisering av miljøkvalitet i ferskvann. Veiledning nr.97:04. 31 s.
- Brettum, P. 1984. Planteplankton, telling. I: Vassdragsundersøkelser. En metodebok i limnologi. K. Vennerød (red.). Norsk Limnologiforening. Universitetsforlaget, Oslo. 146-154.
- Brettum, P. 1989. Alger som indikator på vannkvalitet i norske innsjøer. Planteplankton. NIVA-rapport nr.2344. O-86116. 111 s.
- Brettum, P. 1996. Changes in the volume and composition of phytoplankton after experimental acidification of a humic lake. Environ. Intern. 22 (5): 619-628.
- Brettum, P., Faafeng, B. og Oredalen T.J. 1997. Virkninger av forurensning på biologisk mangfold: Vann og vassdrag i by og tettstedsnære områder. Biologisk mangfold av planteplankton - En kunnskapsstatus. NIVA-rapport nr.3770-97. P-966024. 73 s.
- Brettum, P., Berge, D., Løvik, J.E., Mjelde, M., Saltveit, S.J., Brabrand, Å. og Bremnes, T. 1999. Undersøkelse av vannkvalitet og økologiske forhold i Østmarka berørt av lekkasjene til Romeriksporten. NIVA-rapport nr. 4019-99. O-97234. 137 s.
- Brettum, P. og Løvik, J.E. 1999. Overvåking i 1999 av vannkvalitet og økologiske forhold i vassdrag i Østmarka berørt av lekkasjene til Romeriksporten. NIVA-rapport nr. 4137-99. O-97234. 57 s.
- Dumont, H.J., I. Van de Velde og S. Dumont. 1975. The dry weight estimate of biomass in a selection of Cladocera, Copepoda and Rotifera from the plankton, periphyton and benthos of continental waters. Oecologia, 19: 75-97.
- Findlay, D.L. og Kasian, S.E.M. 1991. Response of a phytoplankton community to controlled partial recovery from experimental acidification. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 48: 1022-1029.
- Hairton, N. G., Jr. 1996. Zooplankton egg banks as biotic reservoirs in changing environments. Limnol. Oceanogr. 41 (5): 1087-1092.

- Hessen, D.O., B.A. Faafeng og T. Andersen. 1995 a. Competition and niche segregation between *Holopedium* and *Daphnia*; empirical light on abiotic key parameters. *Hydrobiologia* 307: 253-261.
- Hessen, D.O., B.A. Faafeng og T. Andersen. 1995 b. Replacement of herbivore zooplankton species along gradients of ecosystem productivity and fish predation pressure. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 52: 733-742.
- Lien, L. 1998. Lutvannsbekken. En foreløpig vurdering av vannføring og vannkvalitet. NIVA-rapport nr.3968-98.11 s.
- Lydersen, E. og Löfgren, S. 2001. Potential effects of metals in reacidified limed water bodies in Norway and Sweden. *Environ. Mon. Ass.* (in press).
- Olrik, K., Blomqvist, P., Brettum, P., Cronberg, G. og Eloranta, P. 1998. Methods for Quantitative Assessment of Phytoplankton in Freshwaters, part I. Naturvårdsverkets rapport nr.4860. 86 s.
- Rott, E. 1981. Some results from phytoplankton counting intercalibrations. *Schweiz. Z. Hydrol.* 43. 34-62.
- Schartau, A.K.L., A. Hobæk, B. Faafeng, G. Halvorsen, J.E. Løvik, T. Nøst, A.L. Solheim, og B. Walseng. 1997. Diversitet av dyreplankton og litorale krepsdyr – naturlige gradienter og effekter av forurensninger, fysiske inngrep og introduksjoner. NINA temahefte 14, NIVA-rapport, løpenr. 3768: 1-58.
- Soranno, P.A., S.R. Carpenter og S.M. Moegenburg. 1993. Dynamics of the phantom midge: implications for zooplankton. p. 103-115. In: Carpenter, S.R. and J.F. Kitchell (eds.) *The trophic cascade in lakes*. Cambridge University Press, New York.
- Utermöhl, H. 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. *Mitt. int. Verein. Limnol.* 9. 1-38.
- Yan, N.D. og G.L. Mackie. 1987. Improved estimation of the dry weight of *Holopedium gibberum* (Crustacea, Cladocera) using clutch size, a body fat index, and lake water total phosphorus concentration. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 44: 382-389.



## **7. Vedlegg**

Tabell 1 Temperatur-, oksygen- og siktedypsmålinger i Søndre Puttjern 2000

Dato	28.mars		23.mai		22.juni		28.juli		22.aug.		26.sep.		18.okt.	
Dyp i m	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l
0	0.4	14.7	12.4	9.2	16.3	8.9	15.7	9.0	16.0	7.4	9.7	9.3	9.0	9.6
1	1.1	14.2	12.1	9.1	15.2	9.0	15.5	8.8	15.7	6.9	9.7	9.0	9.0	9.5
2	2.8	8.1	10.0	7.3	13.9	8.6	15.4	8.7	15.7	7.0	9.7	8.5	8.7	9.2
3	3.8	7.5	6.9	5.8	10.9	7.1	14.3	7.8	15.7	6.9	9.7	8.3	8.6	9.2
4	4.1	6.3	6.2	4.7	7.9	5.6	10.7	6.7	12.2	5.9	9.7	8.0	8.6	9.2
5	4.2	5.3	5.1	3.8	6.4	4.2	7.9	4.1	8.7	3.1	9.6	7.7	8.5	9.0
6	4.3	3.1	4.7	1.2	5.4	0.5	6.3	1.0	6.8	0.6	7.5	0.8	8.1	7.2
7	4.4	0.7	4.7	0.3	5.1	0.2	5.5	0.2	5.7	0.2	6.2	0.4	6.6	0.7
8	4.6	0.5	4.7	0.1	5.0	0.2	5.1	0.1	5.3	0.1	5.6	0.3	5.7	0.4
9	4.8	0.4	4.8	0.1	4.9	0.1	5.0	0.1	5.1	0.1	5.3	0.3	5.3	0.2
10			4.9	0.1	5.0	0.1	4.9	0.1	5.0	0.1	5.2	0.3	5.1	0.2
Siktedyp i m			3.9		4.95		5.05		4.7		4.8		3.1	

Tabell 2 Temperatur-, oksygen- og siktedypsmålinger i Nordre Puttjern 2000

Dato	28.mars		23.mai		22.juni		28.juli		22.aug.		26.sep.		18.okt.	
Dyp i m	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l	Temp. °C	Oks.mg/l
0	0.4	4.3	12.9	7.8	16.3	8.4	14.3	5.6	15.6	5.1	9.1	4.3	8.8	6.4
1	2.1	1.8	11.4	3.6	12.9	5.5	14.7	4.9	14.8	4.7	9.1	4.2	8.6	5.6
2	3.1	1.0	6.7	0.4	8.2	1.3	10.5	0.7	11.9	0.6	9.1	4.2	8.4	3.9
3	3.8	0.7	4.8	0.3	5.7	0.5	6.5	0.2	7.7	0.3	8.3	1.0	7.8	0.7
4	4.2	0.5	4.5	0.2	5.1	0.3	5.6	0.2	5.7	0.2	6.3	0.5	7.4	0.3
5	4.8	0.5	4.8	0.2	5.0	0.2	5.1	0.2	5.3	0.2	5.6	0.3	5.9	0.3
6	5.2	0.5	5.1	0.2	5.2	0.2	5.2	0.2	5.2	0.1	5.4	0.3	5.4	0.2
7	5.4	0.4	5.5	0.2	5.5	0.2	5.3	0.2	5.3	0.1	5.5	0.4	5.4	0.2
8	5.5	0.4	5.6	0.2	5.6	0.2	5.4	0.2	5.5	0.1	5.6	0.4	5.5	0.2
9			5.7	0.2	5.7	0.2	5.4	0.2	5.6	0.1	5.7	0.4	5.6	0.2
Siktedyp i m			2.35		1.75		1.70		1.70		1.50		2.75	

Tabell 3 Kjemiske analyseresultater fra Søndre Puttjern 2000

Dato	Dyp	pH	Kond mS/m	Turb FTU	Farge mg/l Pt	TOC mg/l	Tot-P µg/l	PO <sub>4</sub> -P µg/l	Tot-N µg/l	NO <sub>3</sub> µg/l	NH <sub>4</sub> µg/l	Fe µg/l
28.mars	0-6 m	6.21	3.68	0.97	28.8	5.3	4	1	375	57	64	122
	8 m	7.11	13.70									1840
23.mai	0-6 m	6.46	3.46	0.62	29.5	5.2	6	<1	320	34	68	110
	8 m	7.33	15.20									1940
22.juni	0-6 m	6.55	3.48	0.73	27.9	5.2	4	<1	295	18	49	85
	8 m	7.27	12.20									1400
28.juli	0-6 m	6.49	3.44	0.64	24.9	4.9	5	<1	250	3	41	77
	8 m	7.01	10.70									720
22.aug.	0-6 m	7.09	5.11	0.61	25.7	4.9	5	1	245	<1	41	77
	8 m	7.30	15.10									1510
26.sept.	0-6 m	7.26	5.42	0.88	28.4	4.6	4	<1	250	4	37	83
	8 m	7.42	13.60									820
18.okt.	0-6 m	6.56	3.77	0.85	56.7	9.4	8	<1	340	21	29	180
	8 m	7.48	15.00									

Dato	Dyp	Mn µg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Klf a µg/l
28.mars	0-6 m	39.7						5.7	
	8 m							2.1	
23.mai	0-6 m	70.5	1.67	3.54	0.52	0.25	2.5	5.1	2.15
	8 m							1.9	
22.juni	0-6 m	58.6	1.73	3.63	0.54	0.24	2.5	5.0	2.77
	8 m							2.6	
28.juli	0-6 m	43.9	1.76	3.66	0.52	0.21	2.6	4.9	4.25
	8 m							3.3	
22.aug.	0-6 m	53.0	1.76	7.07	0.57	0.20	2.6	4.9	3.07
	8 m							2.4	
26.sept.	0-6 m	53.5	1.76	7.88	0.58	0.24		4.6	3.07
	8 m							3.0	
18.okt.	0-6 m	76	2.01	3.80	0.49	0.34		5.0	1.05
	8 m								

Tabell 4 Kjemiske analyseresultater fra Nordre Puttjern 2000

Dato	Dyp	pH	Kond mS/m	Turb FTU	Farge mg/l Pt	TOC mg/l	Tot-P µg/l	PO <sub>4</sub> -P µg/l	Tot-N µg/l	NO <sub>3</sub> µg/l	NH <sub>4</sub> µg/l	Fe µg/l
28.mars	0-2 m	5.69	4.97	0.95	39.2	5.6	10	2	410	38	100	420
	2 m	5.53	5.02									450
	4 m	5.65	5.54									820
	7 m	4.80	54.50									18600
23.mai	0-2 m	5.89	4.08	1.20	41.2	5.8	23	2	380	4	5	210
	2 m	5.72	5.12									950
	4 m	6.06	5.53									1060
	7 m	4.76	59.90									20000
22.juni	0-2 m	6.00	3.93	2.28	47.2	6.2	24	2	390	3	<5	210
	2 m	5.75	4.44									400
	4 m	6.01	5.37									1070
	7 m	4.81	57.50									17700
28.juli	0-2 m	5.96	3.71	0.92	58.1	6.8	24	2	435	<1	41	280
	2 m	5.68	4.26									600
	4 m	5.97	5.43									1190
	7 m	4.88	61.90									29200
22.aug.	0-2 m	6.74	5.70	1.44	69.5	7.7	20	2	460	<1	19	340
	2 m	6.34	5.94									610
	4 m	6.29	6.73									1310
	7 m	5.24	58.60									21300
26.sept.	0-2 m	6.77	5.32	0.85	72.9	7.5	15	2	440	4	54	290
	2 m	6.70	5.33									280
	4 m	6.56	6.81									1500
	7 m	5.96	60.80									23800
18.okt.	0-2 m	6.13	4.06	0.81	68.2	9.7	12	1	430	57	42	250
	2 m	6.42	4.08									280
	4 m	5.88	6.72									1700
	7 m	6.42	56.50									13100

Tabell 4 (forts.) Kjemiske analyseresultater fra Nordre Puttjern 2000

Dato	Dyp	Mn µg/l	Na mg/l	Ca mg/l	Mg mg/l	K mg/l	Cl mg/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Klf a µg/l
28.mars	0-2 m	181						10.7	
	2 m							10.4	
	4 m							13.2	
	7 m							270.0	
23.mai	0-2 m	120	1.80	3.72	0.70	0.44	3.0	8.6	9.44
	2 m							11.8	
	4 m							11.5	
	7 m							290.0	
22.juni	0-2 m	98.6	1.74	3.56	0.66	0.48	2.9	7.9	13.20
	2 m							9.6	
	4 m							11.0	
	7 m							270.0	
28.juli	0-2 m	86.8	1.69	3.48	0.62	0.50	2.8	7.2	11.90
	2 m							8.0	
	4 m							10.8	
	7 m							310.0	
22.aug.	0-2 m	98.0	1.70	7.86	0.69	0.52	2.7	6.5	25.00
	2 m							7.5	
	4 m							11.0	
	7 m							280.0	
26.sept.	0-2 m	78.9	1.73	7.02	0.73	0.60		6.6	9.92
	2 m							6.5	
	4 m							9.7	
	7 m							270	
18.okt.	0-2 m	76	1.89	4.01	0.59	0.44		7.1	2.59
	2 m							7.1	
	4 m							9.8	
	7 m							240.0	

**Tabell 5 Kvantitative planteplanktonanalyser av prøver fra : Søndre Puttjern,  
bl.prøve 0-6 m**

		Verdier gitt i mm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> (=mg/m <sup>3</sup> våtvekt)					
		År	2000	2000	2000	2000	2000
		Måned	5	6	7	8	9
		Dag	23	22	28	22	26
			10				18
<b>Cyanophyceae (Blågrønnalger)</b>							
Pseudanabaena constricta			0.7	.	.	.	2.4
Sum - Blågrønnalger			0.7	0.0	0.0	0.0	2.4
<b>Chlorophyceae (Grønnalger)</b>							
Carteria sp. (l=6-7)			.	.	0.7	.	.
Chlamydomonas sp. (l=12)			4.8	.	.	.	.
Chlamydomonas sp. (l=8)			2.1	0.3	2.1	.	1.9
Closterium acutum v.linea			.	.	0.3	.	0.2
Cosmarium contractum			.	.	.	.	0.4
Crucigenia quadrata			.	.	.	0.3	0.6
Elakatothrix gelatinosa (genevensis)			.	.	6.4	0.3	1.0
Euastrum denticulatum			.	.	0.4	.	.
Monoraphidium dybowskii			.	0.5	6.1	4.5	14.2
Oocystis rhomboidea			.	.	2.7	1.6	2.1
Oocystis submarina v.variabilis			2.3	26.6	40.0	31.9	10.2
Paramastix conifera			.	0.1	.	.	.
Scenedesmus eornis			.	.	.	1.3	.
Scourfieldia cordiformis			.	.	.	.	1.7
Sphaerocystis schroeteri			.	6.4	15.2	.	.
Staurostrum sp.			.	.	1.0	.	.
Ubest.cocc.gr.alge (Chlorella sp.?)			1.4	8.0	159.6	45.1	1.6
Sum - Grønnalger			10.5	41.8	234.4	85.0	33.9
<b>Chrysophyceae (Gullalger)</b>							
Bicosoeca sp.			0.1	.	.	.	.
Bitrichia chodatii			0.7	1.3	0.3	0.3	1.2
Chrysidiastrium catenatum			.	.	4.6	0.8	.
Chrysolykos skujai			1.0	0.3	0.1	.	.
Craspedomonader			.	.	.	0.3	0.5
Cyster av chrysophyceer			7.0	.	.	.	0.8
Dinobryon bavaricum			.	0.5	3.3	7.0	2.0
Dinobryon borgei			.	0.1	0.5	0.1	0.2
Dinobryon crenulatum			1.2	2.8	1.4	2.4	.
Dinobryon cylindricum var.alpinum			2.4	.	.	.	.
Dinobryon divergens			.	.	1.0	8.9	0.4
Dinobryon korshikovii			.	0.5	.	.	.
Dinobryon sociale v.americanum			6.0	6.4	.	3.2	.
Dinobryon suecicum v.longispinum			.	.	0.3	.	.
Kephyrion boreale			.	0.4	.	.	.
Kephyrion sp.			0.1	0.5	.	.	.
Løse celler Dinobryon spp.			6.6	13.5	0.7	.	.
Mallomonas akrokomos (v.parvula)			0.5	.	.	.	.
Mallomonas caudata			.	.	.	0.7	52.8

Tabell 5 (forts.)

Mallomonas cf. acaroides	.	.	2.0	.	1.1	0.6
Mallomonas cf. maiorensis	.	0.9	.	.	.	.
Mallomonas punctifera (M. reginae)	0.4	4.4	2.5	3.6	3.0	0.7
Mallomonas spp.	0.3	3.2	.	.	.	.
Ochromonas sp. (d=3.5-4)	10.4	8.3	1.6	5.4	9.4	18.7
Små chrysomonader (<7)	31.2	33.8	15.7	17.2	32.4	23.8
Spiniferomonas sp.	.	.	.	0.3	.	.
Store chrysomonader (>7)	6.0	5.2	9.5	6.0	8.6	0.9
Synura sp. (l=9-11 b=8-9)	.	0.9	.	1.9	0.8	.
Ubest. chrysophyceae	.	.	.	.	0.1	.
Uroglena americana	.	.	.	.	54.0	.
Uroglena cf. americana	.	3.3	.	.	.	.
Sum - Gullalger	73.7	86.2	43.5	58.1	167.3	49.4
<b>Bacillariophyceae (Kiselalger)</b>						
Eunotia lunaris	.	.	0.2	.	0.2	0.3
Fragilaria sp. (l=40-70)	.	0.2	.	.	.	.
Tabellaria flocculosa	0.8	.	.	.	.	.
Sum - Kiselalger	0.8	0.2	0.2	0.0	0.2	0.3
<b>Cryptophyceae (Svelgflagellater)</b>						
Cryptomonas erosa v. reflexa (Cr. refl.?)	0.3	0.8	0.8	.	.	2.2
Cryptomonas marssonii	.	0.8	0.4	9.2	3.5	1.4
Cryptomonas sp. (l=15-18)	20.7	.	0.7	.	42.7	22.7
Cryptomonas sp. (l=20-22)	0.8	1.4	1.0	5.7	7.4	2.2
Cryptomonas spp. (l=24-30)	0.5	1.0	6.0	11.3	11.5	10.0
Katablepharis ovalis	2.7	7.2	1.0	2.1	0.7	1.7
Ubest. cryptomonade (Chroomonas sp.?)	3.2	.	3.1	4.0	7.0	2.9
Ubest. cryptomonade (l=6-8) Chro. acuta ?	2.1	12.2	4.3	5.5	4.8	1.9
Sum - Svelgflagellater	30.4	23.4	17.3	37.8	77.6	45.0
<b>Dinophyceae (Fureflagellater)</b>						
Gymnodinium cf. lacustre	19.4	0.8	1.5	3.8	.	0.2
Gymnodinium cf. uberrimum	.	.	22.4	38.4	.	3.8
Gymnodinium sp. (l=14-16)	4.6	.	.	.	.	.
Peridinium raciborskii (P. palustre)	40.0	56.0	159.6	252.0	34.0	.
Peridinium umbonatum (P. inconspicuum)	1.7	1.6	0.5	11.6	2.6	2.8
Ubest. dinoflagellat	8.8	0.9	.	0.4	.	.
Sum - Fureflagellater	74.4	59.3	184.0	306.2	36.6	6.8
<b>Euglenophyceae (Øyealger)</b>						
Euglena acus	0.3	0.3	1.1	1.5	4.3	0.5
Euglena oxyuris v. minor	.	.	5.0	.	5.0	.
Sum - Øyealger	0.3	0.3	6.1	1.5	9.3	0.5
<b>Xanthophyceae (Gulgrønnalger)</b>						
Isthmochloron trispinatum	0.1	.	.	.	.	.
Sum - Gulgrønnalger	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Tabell 5 (forts.)

My-alger

My-alger	25.3	29.9	15.7	11.3	35.1	13.5
Sum - My-alge	25.3	29.9	15.7	11.3	35.1	13.5
Sum totalt :	216.1	241.0	501.1	499.9	362.3	118.3



**Tabell 6 Kvantitative planteplanktonanalyser av prøver fra : Nordre Puttjern, bl.prøve 0-2 m**

Verdier gitt i mm<sup>3</sup>/m<sup>3</sup> (=mg/m<sup>3</sup> våtvekt)

	År	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	Måned	5	6	7	8	9	10
	Dag	23	22	28	22	26	18
<b>Chlorophyceae (Grønnalger)</b>							
Carteria sp. (l=6-7)		.	.	.	.	0.9	.
Chlamydomonas sp. (l=8)		26.0	0.4	0.3	.	.	0.3
Cosmarium sphagnicolum v.pachygonum		.	.	9.5	1.2	.	.
Dictyosphaerium pulchellum v.minutum		.	.	4.1	1.3	.	.
Koliella sp.		1.0	3.2	3.2	0.6	0.1	.
Monoraphidium dybowskii		.	.	.	.	.	0.3
Oocystis submarina v.variabilis		.	.	.	.	.	0.3
Paramastix confiera		0.9	.	.	.	.	.
Scourfieldia cordiformis		0.9	0.3	63.1	24.9	0.7	2.3
Sum - Grønnalger		28.8	3.8	80.2	27.9	1.8	3.0
<b>Chrysophyceae (Gullalger)</b>							
Bitrichia chodatii		.	.	3.0	2.9	0.7	.
Chromulina sp. (Chr.pseudonebulosa ?)		0.5	0.3	.	.	.	.
Chrysidiastrium catenatum		5.6	133.6	.	.	.	.
Craspedomonader		0.7	1.6	7.7	0.3	1.6	17.0
Cyster av chrysophyceer		.	4.6	.	13.9	.	.
Cyster av Dinobryon spp.		18.6	.	.	.	.	.
Dinobryon bavaricum		46.6	0.5	.	.	.	.
Dinobryon crenulatum		35.7	6.0	0.4	2.8	.	.
Dinobryon cylindricum var.alpinum		27.0	.	.	.	.	.
Dinobryon divergens		.	0.9	0.8	5.4	4.6	.
Dinobryon sociale v.americanum		62.8	.	.	.	.	.
Løse celler Dinobryon spp.		38.6	.	.	1.4	.	.
Mallomonas caudata		.	.	.	.	.	7.8
Mallomonas punctifera (M.reginae)		.	.	13.4	11.5	4.6	.
Mallomonas spp.		.	.	.	.	2.0	.
Ochromonas sp. (d=3.5-4)		21.8	16.6	2.6	4.7	15.0	15.6
Små chrysomonader (<7)		181.2	71.7	10.7	30.1	42.0	20.7
Spiniferomonas sp.		.	8.6	.	1.6	.	0.3
Store chrysomonader (>7)		89.6	68.9	3.4	12.1	16.4	7.8
Syncrypta sp.		.	1.3	.	.	.	.
Synura sp. (l=9-11 b=8-9)		.	0.9	1.9	.	0.9	0.8
Ubest.chrysophyceae (l=8-9)		.	142.0	.	.	.	.
Uroglena americana		13.9	808.3	.	1552.6	1.3	.
Sum - Gullalger		542.4	1265.7	43.8	1639.3	88.9	69.9
<b>Bacillariophyceae (Kiselalger)</b>							
Eunotia lunaris		0.4	.	0.3	.	0.3	1.4
Rhizosolenia longiseta		.	.	6.9	22.9	2.4	.
Tabellaria flocculosa		.	.	0.8	0.8	0.8	.
Sum - Kiselalger		0.4	0.0	8.0	23.7	3.5	1.4

Tabell 6 (forts.)

**Cryptophyceae** (Svelgflagellater)

Cryptomonas erosa v.reflexa (Cr.refl.?)	38.2	67.6	.	17.9	24.8	44.8
Cryptomonas marssonii	.	4.2	.	6.9	5.0	2.6
Cryptomonas sp. (l=15-18)	19.1	62.0	103.7	137.1	113.3	52.5
Cryptomonas sp. (l=20-22)	.	68.9	34.5	25.4	117.1	47.8
Cryptomonas spp. (l=24-30)	130.1	230.3	305.9	171.6	132.5	83.0
Ubest.cryptomonade (Chroomonas sp.?)	24.8	33.4	20.7	25.8	16.0	5.5
Ubest.cryptomonade (l=6-8) Chro.acuta ?	.	.	.	.	.	1.2
Sum - Svelgflagellater	212.1	466.4	464.7	384.8	408.8	237.4

**Dinophyceae** (Fureflagellater)

Gymnodinium cf.lacustre	126.4	6.0	1.0	.	3.6	0.5
Gymnodinium sp. (l=14-16)	.	3.2	0.5	.	.	.
Peridinium umbonatum	742.0	693.9	129.5	100.1	128.7	3.6
Peridinium umbonatum (P.inconspicuum)	41.1	197.1	809.7	189.5	15.0	9.0
Ubest.dinoflagellat	9.3	0.8	.	.	.	0.5
Sum - Fureflagellater	918.8	900.9	940.7	289.6	147.2	13.5

**Euglenophyceae** (Øyealger)

Trachelomonas furcata	5.3	.	.	.	.	.
Sum - Øyealger	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

**My-alger**

My-alger	38.5	63.0	77.0	63.0	14.9	12.9
Sum - My-alge	38.5	63.0	77.0	63.0	14.9	12.9

Sum totalt :	1746.3	2699.8	1614.4	2428.1	665.2	338.2
--------------	--------	--------	--------	--------	-------	-------

Tabell 7 Dyreplankton i Søndre Puttjern i 2000 gitt som mg tørrvekt pr. m<sup>3</sup> i sjiktet 0-6 m.

	23. mai	22. jun	28. jul	22. aug	26. sep	18. okt
<u>HJULDYR (Rotifera)</u>						
Kellicottia longispina	0,36	2,33	8,06	9,10	0,45	
Conochilus spp.	0,86					
Polyarthra spp.	0,07		0,08	4,70	1,10	0,50
Keratella cochlearis	0,14	2,29	0,52	3,75	0,13	
Keratella spp.				0,26		0,07
Gastropus sp.		0,08	0,09	0,40	0,05	
Filinia spp.				0,20	1,20	0,50
Ploesoma sp.				0,15		
Sum Rotifera	1,43	4,71	8,74	18,56	2,93	1,07
<u>HOPPEKREPS (Copepoda)</u>						
Eudiaptomus gracilis	14,68	16,92	10,97	6,21	3,18	4,09
Sum Calanoida	14,68	16,92	10,97	6,21	3,18	4,09
Cyclops scutifer		4,67	1,11	6,34		
Mesocyclops leuckarti			1,03			
Cyclopoida cop. + naup. ubest.	4,19	18,20	5,39	19,97	5,08	4,46
Sum Cyclopoida	4,19	22,87	7,52	26,30	5,60	4,46
<u>VANNLOPPER (Cladocera)</u>						
Holopedium gibberum	0,56	35,33		1,62	6,63	1,74
Diaphanosoma brachyurum	0,14		1,11	5,00	0,28	
Daphnia hyalina			1,67			
Ceriodaphnia quadrangula	2,83	7,76	7,69	25,49	7,79	3,01
Bosmina longispina		2,75	1,05	0,27	0,66	
Bosmina longirostris		0,62	0,46	0,29	0,72	
Chydoridae ubest.			0,03	0,01		
Sum Cladocera	3,52	46,46	12,01	32,68	16,08	4,75
Sum krepsdyrplankton	22,39	86,24	30,50	65,19	24,86	13,30
Sum dyreplankton	23,82	90,95	39,24	83,75	27,78	14,36

Tabell 8 Dyreplankton i Nordre Puttjern i 2000 gitt som mg tørrvekt pr. m<sup>3</sup> i sjiktet 0-4 m.

	23. mai	22. jun	28. jul	22. aug	26. sep	18. okt
<u>HJULDYR (Rotifera)</u>						
Kellicottia longispina				0,20		
Conochilus spp.			4,29	0,60		
Polyarthra spp.	0,10	0,80	11,43	1,70	1,50	0,38
Keratella cochlearis	26,00	176,50	132,14	91,50	8,75	0,12
Keratella spp.	15,86	0,78	46,43	3,51	0,65	
Synchaeta sp.		8,40	2,57	4,20		0,39
Asplanchna priodonta		5,70	18,21	18,00		
Gastropus sp.				0,60	0,10	
Lecane sp.	0,10					
Sum Rotifera	42,06	192,18	215,07	120,31	11,00	0,89
<u>HOPPEKREPS (Copepoda)</u>						
Diaptomidae ubest.	0,58			0,50		0,17
Sum Calanoida	0,58	0,00	0,00	0,50	0,00	0,17
Cyclops scutifer	0,91			0,79		
Mesocyclops leuckarti			0,31			
Cyclopoida cop. + naup. ubest.	2,94	1,73	1,08	1,18	0,03	0,05
Sum Cyclopoida	3,86	1,73	1,40	1,97	0,03	0,05
<u>VANNLOPPER (Cladocera)</u>						
Holopedium gibberum					0,14	
Ceriodaphnia quadrangula					0,86	
Bosmina longirostris						0,29
Sum Cladocera	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0,29
Sum krepsdyrplankton	4,43	1,73	1,40	2,47	1,03	0,50
Sum dyreplankton	46,49	193,91	216,47	122,78	12,03	1,39

Tabell 9 Kjemiske analyseresultater for Puttjernsbekken (P1) i 2000

Parameter Dato	pH	Kond. mS/m	Alkalitet mmol/l	Turbiditet FTU	Farge mg/l Pt	Totalfosfor µg/l P	Totalnitrogen µg/l N	TOC mg/l C	Al/R µg/l	Al/lab µg/l	Al/lab µg/l
28.mars	5.99	5.71	0.086	0.63	54.2	6	435	6.5	144	130	14
23.mai	6.31	5.35	0.196	1.40	112.0	15	580	11.0	132	121	11
22.juni	6.36	4.83	0.127	1.04	122.0	12	415	11.8	135	127	8
28.juli	5.81	4.37		0.78	110.0	15	435	13.7	243	207	36
22.aug.	6.31	5.45	0.109	1.09	100.0	17	520	10.4	162	143	19
26.sept.	6.50	5.43	0.162	1.60	68.6	16	580	7.9	127	117	10
18.okt.	5.96	4.43	0.069	0.60	132.0	11	490	14.2	188	176	12

Tabell 10 Kjemiske analyseresultater for Lutvannsbekken (L1) i 2000

Parameter Dato	pH	Kond. mS/m	Alkalitet mmol/l	Turbiditet FTU	Farge mg/l Pt	Totalfosfor µg/l P	Totalnitrogen µg/l N	TOC mg/l C	Al/R µg/l	Al/lab µg/l	Al/lab µg/l
28.mars	7.02	5.28	0.210	0.61	19.1	3	295	3.0	54	39	15
23.mai	7.33	6.92	0.343	0.94	14.1	4	270	2.3	24	10	14
22.juni	7.40	6.92	0.343	1.45	14.5	5	265	2.2	20	10	10
28.juli	7.08	4.69		0.92	29.7	7	285	4.3	32	26	6
22.aug.	7.42	6.63	0.337	0.86	15.7	4	260	2.6	17	9	8
26.sep.	7.46	7.28	0.377	0.50	8.3	3	215	1.9	14	8	6
18.okt.	7.17	5.56	0.212	0.51	22.9	4	230	3.5	32	20	12

Tabell 11 Kjemiske analyseresultater for Lutvannsbekken (L0) i 2000

Parameter Dato	pH	Kond. mS/m	Alkalitet mmol/l	Turbiditet FTU	Farge mg/l Pt	Totalfosfor µg/l P	Totalnitrogen µg/l N	TOC mg/l C	Al/R µg/l	Al/lab µg/l	Al/lab µg/l
28.mars	6.96	6.68	0.300	0.58	6.56	3	230	1.5	14	5	9
23.mai	7.15	7.15	0.280	0.73	6.57	5	245	1.6	15	5	10
22.juni	7.20	6.48	0.285	1.07	6.97	3	210	1.6	15	5	10
28.juli	7.10	6.58		1.31	9.75	4	245	1.8	19	6	13
22.aug.	7.27	6.53	0.290	1.02	6.77	3	200	1.8	17	11	6
26.sep.	7.30	6.49	0.293	0.51	7.09	2	175	1.6	18	6	12
18.okt.	7.22	5.96	0.235	0.49	8.27	3	190	1.8	11	5	6

Tabell 12 Kjemiske analyseresultater for Kroktjernsbekken (Kr1) i 2000

Parameter Dato	pH	Kond. mS/m	Alkalitet mmol/l	Turbiditet FTU	Farge mg/l Pt	Totalfosfor µg/l P	Totalnitrogen µg/l N	TOC mg/l C	Al/R µg/l	Al/lab µg/l	Al/lab µg/l
28.mars	6.40	3.57	0.074	0.24	17.8	2	300	3.5	96	85	11
23.mai	6.75	3.80	0.100	0.23	11.7	2	225	3.0	42	33	9
22.juni	6.91	3.91	0.118	0.37	12.1	2	195	2.9	34	25	9
28.juli	6.69	3.12		0.32	25.5	4	215	4.9	45	39	6
22.aug.	6.83	3.62	0.114	0.20	16.5	3	255	3.6	38	28	10
26.sep.	6.93	3.85	0.126	0.27	11.0	2	195	2.6	19	14	5
18.okt.	6.69	3.60	0.096	0.50	46.1	5	290	7.0	113	101	12